

**MODELACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE  
EL USO DEL ALGORITMO DE RELIEF**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
MODELACIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA LÍNEAS DE  
TRANSMISIÓN MEDIANTE EL USO DEL ALGORITMO DE RELIEF**

**AUTOR:  
PAUL FERNANDO OÑA OÑA**

**DIRECTOR:  
DIEGO FRANCISCO CARRION GALARZA**

**Quito, Abril de 2015**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, Paul Fernando Oña Oña autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, Abril del 2015

---

**Paul Fernando Oña Oña**

**CC: 1715994008**

**AUTOR**

**CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la monografía, así como el funcionamiento del “Modelación de Sistemas de Protección para Líneas de Transmisión Mediante el uso del Algoritmo de Relief” realizada por el Sr. Paul Fernando Oña Oña, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 17 de Abril del 2015

---

**Ing. Diego Francisco Carrión Galarza**  
**DIRECTOR**

## DEDICATORIA.

*Paul Fernando Oña Oña*

*Siempre me he sentido maravillado por la linda familia que tengo, se han preocupado de mi desde el primer momento que llegue a este mundo me han formado para saber cómo luchar y salir victorioso ante diversas adversidades de la vida. Muchos años después sus enseñanzas no cesan y aquí estoy con un nuevo logro exitosamente conseguido.*

*A mi entrañable Ing. Guido que con sus consejos me supo dirigir en la meta establecida aunque extrañare su presencia siempre lo recordare.  
A Victoria y Dana que con su alegría siempre han estado a mi lado, a mis amigos y compañeros por darme su apoyo incondicional.*

## AGRADECIMIENTO.

*Paul Fernando Oña Oña*

*Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por ser la institución que me formó profesionalmente y permitió desarrollar la paciencia, constancia, ética, tolerancia y sociabilidad. Al Ing. Diego Francisco Carrión, quien aportó su conocimiento, tiempo y paciencia al dirigir este trabajo de investigación. A los docentes y compañeros en general que aportaron en mi desarrollo académico en especial a los que fueron un verdadero reto.*

## Contenido

DECLARATORIA DE AUTORÍA:	II
CERTIFICA:	III
DEDICATORIA.	IV
AGRADECIMIENTO.	V
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>XI</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>XIV</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	<b>XV</b>
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XVI
Resumen	XVII
Abstract	XVIII
CAPITULO I	2
1.1 DEFINICION DE UN SEP	2
1.2 ETAPAS DE UN SEP	3
1.2.1 Generación	3
1.2.2 Generación distribuida	3
1.2.3 Generación Centralizada	4
1.2.4 Centrales Hidroeléctricas	4
1.2.5 Centrales Térmicas	5
1.2.6 Centrales Nucleares	5
1.2.7 Central Eólica	5
1.2.8 Transmisión	6
1.2.8.1 Tipo de estructuras	8
1.2.8.1 .1 Torres de acero celosía	8
1.2.8.1 .2 Postes Truncocónicos	9
1.2.8.1 .3 Estructuras compuestas por postes de Madera o Concreto	9
1.2.9 Distribución	10
1.2.9.1 Tipos de sistemas de Distribución	12
1.2.9.2 Sistema Radial	13
1.2.9.3 Sistema Anillo	14
1.2.9.4 Usuario Final	15
1.3 ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA	15
1.3.1 NEWTON RAPHSON	15
1.3.3 METODO DE GAUSS – SEIDEL	16
1.4 SITUACION ACTUAL DEL ECUADOR - SNI	16
1.4.1 Evolución del Sector el Eléctrico	17
1.4.2 Política Nacional del sector Eléctrico	18



CAPITULO II.....	21
2.1 DEFINICION DE FALLAS .....	21
2.1.1 Calidad de Energía.....	21
2.1.2 Efectos de los Armónicos en la red Eléctrica .....	22
2.1.3 Soluciones de los Armónicos en la red Eléctrica.....	22
2.2 CLASIFICACION DE FALLAS.....	23
2.2.1 Fallas Simétricas .....	23
2.2.2 Fallas Asimétricas .....	23
2.2.2.1 Fallas monofásicas. (L.G).....	24
2.2.2.2 Falla Línea a línea.....	25
2.2.2.3 Falla doble línea a tierra (LLG) .....	25
2.2.2.3 Fallas Abiertas .....	26
2.2.2.3 Una fase abierta .....	26
2.2.2.4 Dos fases abiertas.....	28
2.2.3 Protecciones en Líneas de Transmisión.....	29
2.2.3.1 Protecciones Principales y de Respaldo.....	30
2.3 CALCULO DE FALLA .....	32
2.4 SIMULACION Y EMULACION UN SEP .....	34
CAPITULO III .....	39
3.1 ALGORITMO DE RELIEF.....	39
3.1.1 Relief.....	39
3.1.2 Relief-F .....	40
3.1.3 RRelief-F .....	42
3.2 APLICACIÓN DE ALGORITMO RELIEF EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	42
3.3 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN.....	49
3.4 MODELAMIENTO EN MATLAB.....	49
3.4.1 Modelación de Relief en una Falla Monofásica .....	53
3.4.2 Modelación de Relief en una Falla Bifásica .....	58
3.4.3 Modelación de Relief en una Falla Bifásica a Tierra.....	60
3.4.4 Modelación de Relief en una Falla Trifásica .....	62
CAPITULO IV .....	65
4.1 RESULTADOS DE SIMULACION .....	65
4.2 GRAFICAS DE SIMULACION .....	68
4.3 COMPARACION GRAFICA .....	70
4.4 ANALISIS DE RESULTADOS .....	73
CONCLUSIONES.....	77

RECOMENDACIONES .....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	80
ANEXOS .....	84
ANEXO A .....	85
REGULACION DEL CONELEC 08/011.....	85
EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD .....	86
CONELEC.....	86
1.OBJETIVO .....	87
2.ALCANCE .....	87
3.DEFINICIONES.....	87
3.1.Alumbrado Público.....	87
3.2.Alumbrado Público General .....	87
3.3.Alumbrado Público Ornamental .....	87
3.4.Alumbrado Público Intervenido. ....	87
3.5.Consumidor .....	88
3.6.Servicio de Alumbrado Público General–SAPG.....	88
3.7Sistema de Alumbrado Público General.....	88
3.8.Tarifa del servicio de Alumbrado Público General .....	88
3.9.Sistema de alumbrado público ornamental e intervenido.....	88
3.10.Sistema de Semaforización.....	88
3.11.Sistemas de seguridad.....	88
3.12.Usuarios de SAP .....	88
3.13.Pago de SAPG .....	89
3.14Flujo luminoso ( $\phi$ ).....	89
3.15.Iluminancia (E) .....	89
3.16.Intensidad luminosa (I).....	89
3.17.Luminancia (L):.....	89
3.18.Deslumbramiento .....	89
3.19.Zonas de Conflicto .....	89
4.RESPONSABILIDADES.....	89
4.1CONELEC:.....	89
4.2Distribuidoras: .....	90
4.3Municipios:.....	90
4.4Policía Nacional o autoridad de tránsito competente: .....	90
4.5Usuarios:.....	91
4.6INEN: .....	91
5.ASPECTOS TÉCNICOS.....	91

5.1.VÍAS CON TRÁFICO MOTORIZADO.....	91
5.1.1.Parámetros fotométricos.....	91
5.1.1.1.Luminancia promedio de la calzada (Lav) .....	91
5.1.1.2.Uniformidad general de luminancia de la calzada (Uo) .....	91
5.1.1.3.Uniformidad longitudinal sobre la calzada (UL).....	91
5.1.1.4.Deslumbramiento (TI) .....	92
5.1.1.5.Relación de alrededores (SR) .....	92
5.1.2.Iluminación según las vías.....	92
5.1.3.Niveles.....	93
5.1.4. Variaciones temporales de la clase de iluminación de acuerdo con la densidad de tráfico.....	94
5.2.VÍAS PEATONALES .....	94
5.2.1.Parámetros fotométricos.....	94
5.2.2. Tipo de vías .....	94
5.2.3.Niveles de Iluminación.....	95
5.3.SISTEMAS ESPECIAL DE ILUMINACIÓN.....	95
5.3.1.Zonas de conflicto: .....	96
Se producen cuando el flujo de vehículos se cruza entre sí o se dirige hacia lugares frecuentados por peatones, ciclistas o usuarios de otros caminos; o cuando, hay un cambio en la geometría de la vía, tales como una reducción del número de carriles o la reducción del ancho de un carril o una calzada. ....	
5.3.2.Nivele de Iluminación (Zonas de conflicto).....	97
5.3.3. Túneles .....	97
Para el caso de túneles se debe utilizar la Norma CIE 88. ....	97
5.4.MEDICIONES .....	97
6.CONTINUIDAD DE SERVICIO .....	98
El alumbrado público general deberá estar encendido durante la noche y durante las horas del día en las cuales las condiciones climáticas o de seguridad determinen que sea necesario la iluminación artificial.....	
6.1.Parámetros de Continuidad.....	98
6.2.Límite .....	99
6.3.Ajuste tarifario.....	99
6.4.Reposición del servicio en luminarias .....	99
7.MEDICIÓN DE LA ENERGÍA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL .....	99
7.1.Con Contador de energía. ....	99
7.2.Sin Contador de energía. ....	99
8.COORDINACIÓN INSTITUCIONAL.....	100
9.ASPECTOS ECONÓMICOS.....	101

9.1.Modelo de costo eficiente.....	101
9.2.Costo del servicio .....	101
9.2.1.Costos de administración operación y mantenimiento.....	101
9.2.2.Componente de expansión.....	101
9.2.3.Reconocimiento de activos actuales.....	102
9.2.4.Costo de la energía eléctrica.....	102
9.2.5.Revisión de costos al final de periodo.....	102
10.PRINCIPIOS TARIFARIOS APLICADOS .....	103
11.ASPECTOS COMERCIALES .....	103
11.1.Manejo de cuentas para el servicio de alumbrado público general .....	103
11.2.Registro de activos de alumbrado público general.....	103
11.3.Liquidación de la energía mensual de alumbrado .....	103
11.3.1.Determinación de la energía de alumbrado ornamental.....	104
11.4.Recaudación de los costos del servicio de alumbrado público general .....	104
12.ENVÍO DE INFORMACIÓN .....	104
13.SUPERVISIÓN Y CONTROL .....	104
14.DISPOSICIONES GENERALES .....	104
15.RÉGIMEN TRANSITORIO .....	105
15.1.Actualización de los inventarios y activos en operación del SAP.....	105
15.2.Alumbrado Público SAP en Operación.....	105
15.3.Activos actuales y su tratamiento para ingresar en el nuevo esquema de la prestación del SAP .....	105
15.4.Medición del Alumbrado Público Ornamental e Intervenido .....	105
15.5.Tratamiento Tarifario del SAPG .....	105
15.6.Cálculo de la Tarifa para Alumbrado Público .....	106
<b>Secretario General del CONELEC .....</b>	<b>106</b>
ANEXO B .....	107
MODELAMIENTO EN MATLAB .....	107

## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1.1:</b> Diagrama esquemático que describe la estructura de un SEP .....	2
<b>Fig. 1.2:</b> Diagrama Principio de funcionamiento de una central hidroeléctrica .....	4
<b>Fig. 1.3:</b> Circuito Equivalente de una línea corta.....	7
<b>Fig. 1.4:</b> Circuito Equivalente de una Línea Media .....	7
<b>Fig. 1.5:</b> Circuito Equivalente de una Línea Larga. ....	8
<b>Fig. 1.6:</b> Poste Troncocónico de 115 kV.....	9
<b>Fig. 1.7:</b> Torre de celosía de acero 230 kV. ....	10
<b>Fig. 1.8:</b> Sistema de transporte y distribución en un SEP .....	11
<b>Fig. 1.9:</b> Diagrama tipo radial .....	13
<b>Fig.1.10:</b> Sistema tipo anillo .....	14
<b>Fig. 1.11:</b> Evolución decenal de clientes por grupo de consumo.....	17
<b>Fig. 1.12:</b> Participación del consumo años 2003 y 2012 .....	18
<b>Fig. 1.13:</b> Evolución decenal de energía por grupo de consumo .....	18
<b>Fig. 2.1:</b> Diagrama esquemático de una falla monofásica .....	24
<b>Fig. 2.2:</b> Diagrama esquemático de una falla línea línea .....	25
<b>Fig. 2.3:</b> Diagrama esquemático de una falla bifásica a tierra .....	26
<b>Fig.2.4:</b> Representación esquemática de una falla de una fase Abierta .....	27
<b>Fig. 2.5:</b> Conexión de las mallas de secuencia para una falla de fase abierta .....	27
<b>Fig. 2.6:</b> Representación esquemática de una falla de dos fases abiertas .....	28
<b>Fig. 2.6</b> Conexión de la mallas de secuencias para una falla de dos fases abiertas.....	29
<b>Fig. 2.7</b> SEP de cuatro barras .....	32
<b>Fig. 2.8 Circuito Equivalente</b> .....	32
<b>Fig. 2.9</b> Circuito Paralelo impedancias .....	33
<b>Fig. 2.10</b> Sistema IEEE de 9 barras.....	34
<b>Fig. 2.11:</b> Formas de onda de un sistema de nueve barras en condiciones óptimas de trabajo en la L3 de las tres fases .....	35
<b>Fig. 2.12:</b> Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla monofásica en la L3.....	36
<b>Fig. 2.13:</b> Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla bifásica en la L3 .....	37
<b>Fig. 2.14:</b> Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla bifásica a tierra en la L3.....	37

<b>Fig. 2.15:</b> Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla Trifásica a tierra en la L3.....	38
<b>Fig 3.1:</b> Algoritmo general de Relief .....	40
<b>Fig 3.2:</b> Algoritmo básico de Relief F.....	41
<b>Fig 3.3:</b> Flujograma de Relief .....	43
<b>Fig 3.4:</b> Curva de corrientes en la línea 3 de las fases 3 fases .....	44
<b>Fig 3.5:</b> Curva de voltaje en la línea 3 de las fases 3 fases .....	45
<b>Fig 3.6:</b> Curva de potencia en la línea 3 de las fases 3 fases.....	45
<b>Fig 3.7:</b> Curvas de corriente de con falla monofásica en la línea A.....	46
<b>Fig 3.8:</b> Curvas de voltaje con falla monofásica en la línea A.....	47
<b>Fig 3.9:</b> Curvas de voltaje con falla monofásica en la línea A.....	47
<b>Fig 3.10:</b> Resultado del Algoritmo de Relief .....	48
<b>Fig 3.11:</b> Programación del algoritmo de Relief para líneas de transmisión con diferente tipo de Fallas .....	51
.....	52
<b>Fig 3.12:</b> Programación del algoritmo de Relief para líneas de transmisión con diferente tipo de Fallas .....	52
<b>Fig 3.13:</b> Programación del algoritmo de Relief para líneas de transmisión con diferente tipo de Fallas .....	53
<b>Fig 3.14:</b> Sistema IEEE de 9 Barras .....	54
<b>Fig 3.15:</b> Curvas de estado normal en la line 3 .....	55
<b>Fig 3.16:</b> Curvas con falla monofásica en la línea 3 .....	56
<b>Fig 3.17:</b> Resultado del Algoritmo de Relief .....	58
<b>Fig 3.18:</b> Curvas con falla bifásica en la línea L4.....	59
<b>Fig 3.19:</b> Resultado del Algoritmo de relief para falla bifásica en L4.....	60
<b>Fig 3.20:</b> Curvas con falla bifásica a tierra en la línea L1 .....	61
<b>Fig 3.21:</b> Resultado del Algoritmo de relief para falla bifásica a tierra en L1 .....	62
<b>Fig 3.22:</b> Curvas con falla trifásica en la línea L6 .....	63
<b>Fig 3.23:</b> Resultado del Algoritmo de relief para falla trifásica a tierra en L6 .....	64
<b>Fig 4.1:</b> Curvas de Voltaje con falla de fase abierta en la línea 3 .....	65
<b>Fig 4.2:</b> Curvas de Corriente con falla de fase abierta línea 3 .....	66
<b>Fig 4.3:</b> Curvas de Potencia con falla de fase abierta en la línea 3 .....	67
<b>Fig 4.6:</b> Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla monofásica en dos puntos. ....	69

<b>Fig 4.7:</b> Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla Bifásica. ....	69
<b>Fig 4.8:</b> Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla Trifásica. ....	70
<b>Fig 4.9:</b> Simulación de líneas de transmisión de 6 terminales. ....	71
<b>Fig 4.10:</b> Simulación de líneas de transmisión de 6 terminales. ....	71
<b>Fig 4.11:</b> Simulación de líneas de transmisión de 6 terminales. ....	72
<b>Fig 4.12:</b> Simulación de falla en SEP de 6 barras. ....	72
<b>Fig 4.13:</b> Simulación de falla en SEP de 6 barras. ....	73
.....	74
<b>Fig 4.14:</b> Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla monofásica .....	74
<b>Fig 4.15:</b> Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla Trifásica .....	74

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tipos de Sistemas de Distribución .....	30
Tabla 1.2: Proyectos Hidroeléctricos del Ecuador .....	37
Tabla 1.3: Proyectos Termicos del Ecuador.....	38



## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO A .....	85
REGULACION DEL CONELEC 08/011 .....	85
ANEXO B .....	107
MODELAMIENTO EN MATLAB .....	107

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

AC CELEC	Corriente Alterna
CONELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
DC	Consejo Nacional de Electrificación
HVAC	Corriente Continua
L/T	Heating Ventilating and Air Conditioning
MATLAB	Lina de Transmisión
NI-CD	Laboratorio Matemático, programa computacional matemático
SEP	Baterías de Níquel Cadmio
	Sistema Eléctrico de Potencia

# Resumen

## “Modelamiento de Sistema de Protección para Líneas de Transmisión Mediante el uso del Algoritmo de Relief”

Paul Fernando Oña Oña  
pona@ups.edu.ec  
Universidad Politécnica Salesiana

*Resumen*—El presente proyecto de tesis desarrolla un modelamiento que permita determinar dónde o en qué punto del SEP se produce una falla o perturbación, mediante el algoritmo de Relief que es un algoritmo binario, el modelo es programado y presentado en una herramienta informática *MATLAB*; primeramente se modela el comportamiento de un SEP de nueve (9) barras de la IEEE en condiciones normales en Power Factory para obtener una base de datos la cual se ocupara para ingresarla al *MATLAB* en dicha base de datos obtendremos valores de corriente, voltaje y potencia como valores principales.

Con este modelamiento lo que se busca es reducir el tiempo de respuesta en caso de una falla o perturbación.

*Índice de Términos*— Sistema Eléctrico de Potencia, Perturbación, Algoritmo de Relief, Confiabilidad,

# **Abstract**

## **"Modeling System Protection for Transmission Lines Using the algorithm Relief"**

Paul Fernando Oña Oña  
pona@ups.edu.ec  
Salesiana Polytechnic University

*Abstract*— The present draft thesis develops a modeling that allows to determine where or at what point SEP failure or disruption occurs, using the algorithm of Relief which is a binary algorithm, the model is programmed and presented in a software tool MATLAB; first the behavior of a SEP nine bars of the IEE under normal conditions in Power Factory is modeled for a database which is occupied by MATLAB to enter it in the database obtain values of current, voltage and power as primary values.

With this modeling what is sought is to reduce the response time in case of a fault or disturbance.

*Index of Terms*— Electrical Power System, Disturbance, Algorithm Relief, Reliability.

## INTRODUCCIÓN

La Energía Eléctrica es un componente esencial para el desarrollo industrial en cada uno de los países, además esta energía se puede adaptar con facilidad y eficiencia a aplicaciones domesticas e industriales, especialmente para propósitos de iluminación y trabajo mecánico.

Un Sistema Eléctrico de potencia está conformado por varios generadores, transformadores, líneas de transmisión que son operadas bajo una administración en común para satisfacer la carga estimada y a su vez la demanda creciente.

Las centrales de generación, las líneas de transmisión, los sistemas de distribución y el usuario final son los componentes esenciales en un Sistema Eléctrico de Potencia.

El presente trabajo de tesis está centrado en las líneas de transmisión puesto que de ellas depende la llegada de la energía a la carga siendo de una manera esencial que estas presenten una confiabilidad en las mismas, cabe indicar que estas no se encuentran exceptas de cualquier inconveniente como son, desastres naturales, descargas atmosféricas, eventuales accidentes, etc.

Uno de los componentes más importantes de los Sistemas Eléctricos de Potencia son las líneas de transmisión por ello es importante el poder determinar una falla en una línea de transmisión con una precisión aceptable que permite realizar acciones inmediatas para poder restablecer el suministro de energía de tal manera que se disminuya el tiempo de indisponibilidad y mejorando la confiabilidad del sistema.

Este trabajo de tesis está centrado en modelar un algoritmo matemático por medio del cual nos ayudará a ubicar una falla en el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) realizando una comparación entre los valores de una base de datos que es tomada del sistema en condiciones normales y otra que ir cambiando mediante vaya transcurriendo el tiempo dicho cambio se lo expresara en forma binaria esto quiere decir que será presentado entre ceros y unos, siendo el cero las condiciones normales y un uno una condición de falla.

Con este tipo de modelación nos permite poder encontrar la falla y luego tomar las acciones pertinentes para así disminuir el tiempo de indisponibilidad del sistema y tener una mayor confiabilidad del mismo.

# CAPÍTULO I

## SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

En el presente capítulo se hará una breve revisión sobre la conformación de un Sistema eléctrico de Potencia (SEP), entre los componentes principales tenemos la generación, transmisión, distribución y usuario final, tomando en cuenta que se dará mayor énfasis en las líneas de transmisión para el desarrollo de la presente Tesis.

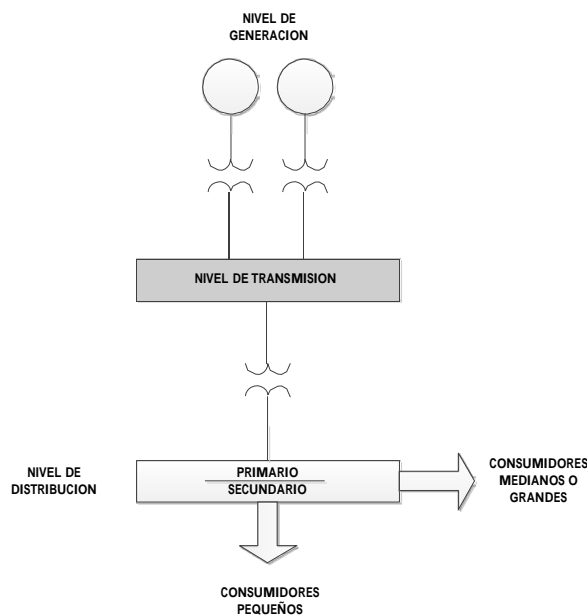
Se realizará también un pequeño análisis sobre el tipo de fallas existentes como son, monofásicas, bifásicas y trifásicas que pueden afectar al sistema.

Se hará un análisis sobre el sistema nacional interconectado, su plan de desarrollo para el crecimiento en el Ecuador y como afecta este en el ámbito económico.

### 1.1 DEFINICIÓN DE UN SEP

Un Sistema Eléctrico de Potencia es un conjunto de elementos el cual está conformado por varios generadores, transformadores, líneas de transmisión que son operadas bajo una administración en común para satisfacer la carga estimada y a su vez la demanda creciente [1].

Las centrales de generación, las líneas de transmisión, los sistemas de distribución y el consumidor final son los componentes esenciales de un sistema eléctrico de potencia, como se muestra en la figura 1.1.



**Fig. 1.1:** Diagrama esquemático que describe la estructura de un SEP

**Fuente:** K. Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008, p. 1100

En nuestro país el nivel de transmisión es de 138 kV , 230 kV , y a niveles de distribución en primario tenemos 13,8 kV, 6.3 kV, 22,8 kV. Y a niveles de distribución secundaria tenemos los siguientes niveles. 120/240V en un sistema monofásico, 121/210 V en un sistema trifásico [2], [3].

Además en nuestro país se ha propuesto la construcción de una subestación de Extra Alta Tensión en el sector de El Inga de Pifo, cerca de Quito, sitio al cual llegara las líneas de transmisión de 500 kV, que permitirá evacuar la energía generada por el proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, cuya potencia es de 1500 MW, esta energía será dirigida hacia Quito y desde ahí hacia el resto del país, mediante una línea de transmisión de 500 kV a implementarse entre Quito y Guayaquil. Cuya finalización de la misma será en marzo del 2016 [4].

## **1.2 ETAPAS DE UN SEP**

En un sistema eléctrico de potencia (SEP) tenemos varias etapas en las cuales encontramos, generación, transmisión, distribución y consumidor final a continuación detallamos cada una de ellas.

### **1.2.1 Generación**

La generación siendo una de las partes más importantes del SEP se encuentra dividida en dos grupos en los cuales tenemos:

- Generación distribuida
- Generación Centralizada

### **1.2.2 Generación distribuida**

La generación distribuida conlleva el uso de varios generadores pequeños, instalados en varios puntos estratégicos en toda el área, de modo que cada uno proporciona energía a un grupo determinado de consumidores cercanos.[2]

La energía eléctrica es generada por diferentes fuentes entre las cuales tenemos, las renovables y las no renovables, entre las fuentes no renovables tenemos petróleo y sus derivados, carbón, gas natural, elementos radioactivos, por otro lado en las fuentes renovables tenemos luz solar, agua, viento, la biomasa, el biocombustibles, etc. Estas últimas son las que se encuentran en un crecimiento debido a que presentan un gran

interés en la sociedad y a su vez no contaminan el ambiente.

### 1.2.3 Generación Centralizada

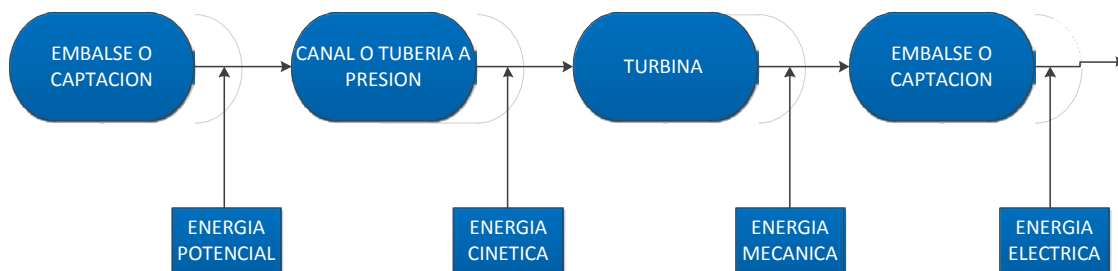
La generación centralizada es donde la electricidad se genera en forma centralizada en grandes cantidades para luego ser distribuida por medio de líneas hacia industrial, comercios y hogares para ser utilizada.

En la generación centralizada tenemos aquí algunas maneras de generar energía entre las cuales tenemos:

- Centrales Hidroeléctricas
- Centrales Térmicas
- Centrales Nucleares
- Centrales Eólicas

### 1.2.4 Centrales Hidroeléctricas

La generación hidroeléctrica es el método más antiguo de generación eléctrica es el de utilizar la energía potencial del agua. Dicha energía se obtiene casi libre de costos de operación y es totalmente libre de contaminación. El principio de funcionamiento se muestra en la siguiente figura 1.2.



**Fig. 1.2:** Diagrama Principio de funcionamiento de una central hidroeléctrica

**Fuente:** K. & Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008, p. 1100

Las plantas hidroeléctricas son de diferentes tipos:

Tipo cause del río sin almacenamiento (uso de agua de caudal del río natural) y tipo embalse (con alta carga o altura útil). Las plantas tipo embalse son las que se emplean para la generación masiva de energía. Frecuentemente, también se construyen plantas en



cascada es decir en una misma corriente de agua en la que la descarga de una planta se convierte en la entrada de la otra planta ubicada aguas abajo.[5]

La potencia disponible de una planta Hidroeléctrica se calcula mediante (1.1):

$$P = \rho Q H g \quad (1.1)$$

Donde:

$Q$ = descarga de agua,  $m^3/s$ , a través de la turbina

$\rho$ =densidad  $1000 \text{ kg/m}^3$

$H$ =carga o altura útil (m)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

### 1.2.5 Centrales Térmicas

En las centrales térmicas convencionales se produce electricidad a partir de combustibles fósiles como son carbón, fuel-oil o gas natural, mediante un ciclo termodinámico agua–vapor [6].

Este vapor de agua acciona las palas de una turbina de vapor, convirtiendo la energía calorífica en energía mecánica, la cual da a continuación a la generación de energía eléctrica.

### 1.2.6 Centrales Nucleares

La fisión de átomos de uranio por impacto de un neutrón provoca la liberación de una gran cantidad de energía. Esta energía calienta el fluido que circula por una serie de tubos, que a su vez acciona un grupo turbina vapor-alternador para producir electricidad

### 1.2.7 Central Eólica

El viento como fuente de energía es atractivo porque es abundante, inagotable y no contaminante, además no impone sobre el ambiente cargas térmicas extras. En la central eólica, la energía cinética del viento se transforma directamente en energía mecánica rotatoria mediante un aerogenerador [7].

Para la generación eólica hay tres tipos de operación:

<b>Tipo</b>	<b>Potencia</b>	<b>Asignación o Utilización</b>
Pequeña	0.5 – 10 kW	Para instalaciones individuales aisladas
Medianas	10 – 100kW	Para comunidades
Grandes	1.5 MW	Para conexión a la red

La potencia teórica en una corriente de viento está dada por:

$$P = 0.5 \rho V^3 A \quad (1.2)$$

Donde:

$\rho$  = densidad del aire (1201 g/m<sup>3</sup> a NTP)

V = velocidad media del aire (m/s)

A = área de barrido (m<sup>2</sup>)

### 1.2.8 Transmisión

La energía eléctrica se transporta, frecuentemente a gran distancia de su centro de producción a través de la red de transporte, encargada de enlazar con los puntos de utilización de la energía eléctrica. Para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas entre sí, de manera que puedan transportar la energía entre puntos muy alejados [8].

Para realizar este tipo de transporte se requiere de la instalación de un transformador de elevación entre la generación y la transmisión de electricidad, logrando así elevar el voltaje hasta los niveles requeridos con esto evitamos caídas de tensión así como también tenemos una corriente relativamente baja en las líneas de transporte. Para esta etapa las líneas de transporte dependerán de las longitudes y de la cantidad de energía eléctrica que se vaya a transportar por las mismas [9].

Los cuatro parámetros principales que afectan el desempeño de las líneas de transmisión como elemento de un sistema eléctrico son:

- Inductancia
- Capacitancia
- Resistencia

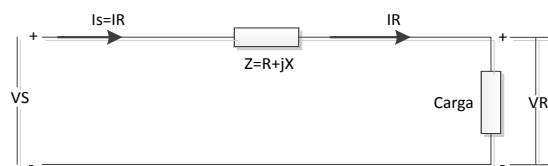
- Conductancia

Estos parámetros se distribuyen uniformemente a lo largo de la línea y juntos forman la impedancia en serie de la línea.

En función de la longitud de la línea puede considerarse que esta es, corta, media o larga de acuerdo a los siguientes criterios.

- Línea Corta

Es cuando se puede despreciar su admitancia transversal. Es en general razonable considerar así a las líneas cuya longitud es inferior a los 80 km.

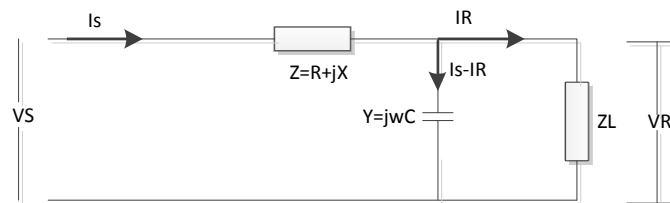


**Fig. 1.3:** *Circuito Equivalente de una línea corta.*

**Fuente:** K. & Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008, p. 1100.

- Línea Media

Para este caso no es correcto despreciar su admitancia, aunque todavía se puede considerarse a lo términos hiperbólicos iguales a la unidad. Se les considera a las líneas que están entre los 80 a 250 km [10].

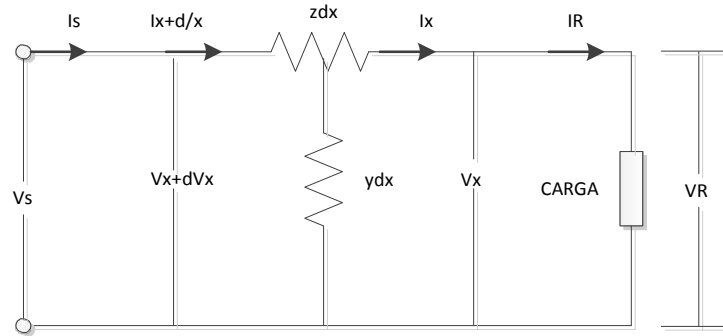


**Fig. 1.4:** *Circuito Equivalente de una Línea Media*

**Fuente:** K. & Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008, p. 1100.

- Línea larga

Es donde no se puede despreciar los términos hiperbólicos y por lo tanto debe utilizarse el circuito “ $\pi$ ” exacto. Su longitud es aquella que supera los 250 km.



**Fig. 1.5:** Circuito Equivalente de una Línea Larga.

**Fuente:** K. & Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008, p. 1100.

### 1.2.8.1 Tipo de estructuras

Las estructuras en las líneas de transmisión tienen la función de soportar los conductores que transportan la energía, de un punto a otro [11]. Estas se originan de una silueta básica, la cual está basada en dimensiones relacionadas con:

- El voltaje para la que será utilizada.
- El número de circuitos que constará.
- El arreglo entre conductores para cumplir con las requisiciones eléctricas.
- Las necesidades de derecho de vía
- Las cuestiones de estética.

Existen diferentes tipos de estructuras que pueden ser utilizadas en un proyecto de líneas de transmisión como son:

- Torres de acero de celosía
- Los postes troncocónicos de acero
- Estructuras formadas por postes de madera o concreto.

Todo de acuerdo como se vaya a desarrollar el proyecto de líneas de transmisión

#### 1.2.8.1 .1 Torres de acero celosía

Una torre de celosía es una estructura de gran tamaño cuya finalidad es transportar cables de energía de alta o baja tensión. Dichas torres se componen de algunos componentes entre los más importantes tenemos:

El cerramiento que es la que proporciona estabilidad a cada nivel de la torre a utilizar Su cuerpo piramidal que es donde se definen los niveles y alturas de la estructura [12]. La horquilla esta es incluida en la torre cuando se trata de un arreglo de un circuito en

posición horizontal y es por donde pasa el conductor central.

Crucetas del conductor son utilizadas en estructuras de dos o más circuitos ayudando a soportar o rematar los cables conductores.

#### **1.2.8.1 .2 Postes Troncocónicos**

Los postes troncocónicos se forman de un número menor de accesorios o piezas debido a que su estructura es la misma para cualquier nivel de voltaje, estos postes están conformados por tres secciones ensamblables entre sí [12].

#### **1.2.8.1 .3 Estructuras compuestas por postes de Madera o Concreto**

Se cuenta con una gran variedad de arreglos, estas son utilizadas comúnmente en voltajes de 115 kV, aunque existe en forma más escasa voltajes mayores a este, tiene este tipo su desventaja que es su poca altura que se puede obtener de ellas.

Para determinar cuál es el tipo de estructura más conveniente a utilizar es necesario conocer los diferentes factores que intervendrán como son la tensión a transmitir, los claros a liberar, la topología existente y cuestiones de estética [13].

Debido a que se encuentra restringido ciertas estructuras en zonas urbanas, es ahí donde se pueden trabajar con los postes troncocónicos, debido a que ellos pueden liberar claros cortos y a que ellos ocupan menos espacio en una zona transversal y por una mejor apariencia estética.



**Fig. 1.6:** *Poste Troncocónico de 115 kV.*

**Fuente:** Autor

Las torres de celosías son ocupadas con mayor frecuencia en campo abiertos sin

restricciones de ocupación de áreas



**Fig. 1.7:** *Torre de celosía de acero 230 kV.*

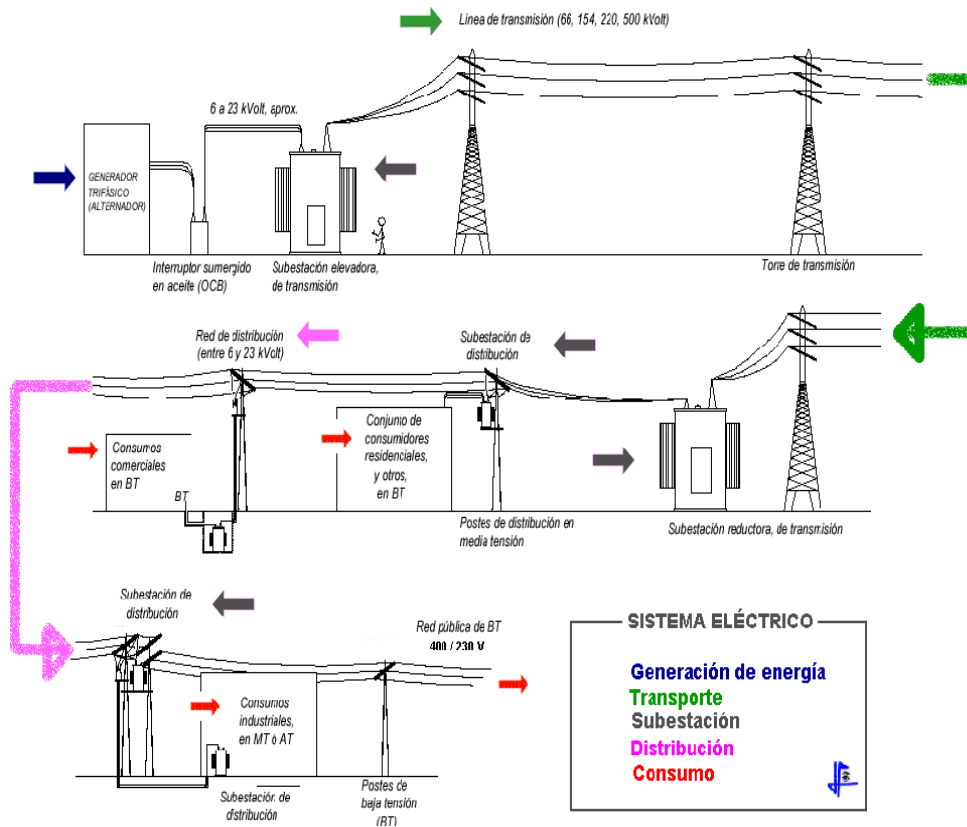
**Fuente:** Autor

### **1.2.9 Distribución**

Las redes de distribución de energía se encuentran en áreas urbanas y rurales, pueden ser aéreas o subterráneas y en ciertos lugares pueden ser mixtos esto quiere decir que pueden tener tramos donde sean aérea y otros tramos donde sea subterránea [14].

Un sistema de distribución como común mente se lo conoce es todo el sistema eléctrico de potencia que comprende desde las planta eléctrica hasta el consumidor.

Los sistemas de distribución de la energía eléctrica comprenden niveles de alta, media y baja tensión.



**Fig. 1.8:** Sistema de transporte y distribución en un SEP

**Fuente:** M. C. V. C. Gutierrez, "LINEAS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION ELECTRICA.," vol. 1, p. 112, 2002

Un sistema de distribución está destinado a proveer un buen servicio el cual debe carecer de perturbaciones como oscilaciones de tensión e interrupciones además de ello dicho sistema debe ser flexible puesto que debe permitir el crecimiento de la carga con un mínimo de modificaciones [15].

Esta flexibilidad permite guardar la capacidad del sistema cercana a los requerimientos actuales de carga y por lo tanto permite que el sistema use de manera más efectiva la infraestructura.

Dependiendo de las características de carga, las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en:

1. Industriales
2. Comerciales
3. Residencial

**Tabla 1.1: Tipos de Sistema de Distribución**

<b>TIPO DE SISTEMAS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>NIVEL DE VOLTAJE</b>
<b>Distribución Industrial</b>	Este sistema comprende a los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como las industrias del acero, petroleras, químicas, etc. Que por lo general reciben el suministro eléctrico en alta tensión.	440/220/127
<b>Distribución Comercial</b>	Es para los sistemas eléctricos existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como edificios de gran altura, bancos supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, etc. Este tipo de sistemas tienen sus propias características como consecuencia de las características especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes.	220/110
<b>Distribución Residencial</b>		
<b>Urbana</b>	Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros de gran consumo pero con una densidad de cargas pequeñas.	210/120
<b>Rural</b>	Estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de carga, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red.	220/110

#### **1.2.9.1 Tipos de sistemas de Distribución**

Las redes de distribución eléctrica tienen como punto de partida las denominadas como subestaciones de distribución primaria cuyo objetivo es el reducir el voltaje desde el nivel de transporte al de alta tensión de distribución. La red de alta tensión de distribución de las empresas eléctricas son llamadas alimentadores , las que pueden ser aéreas o



subterráneas las cuales pueden alimentar directamente a clientes especiales que son consumidores de grandes potencias, que cuentan con sus propios transformadores.

En las redes de distribución o sub redes que por medio de transformadores de baja tensión de distribución a las que se conectan clientes que poseen niveles de potencia bajo y medios [16].

En nuestro país disponemos de los siguientes niveles de voltaje.

ALTA TENSION (kV)	230 – 138
MEDIA TENSION (kV)	69 - 34.5 – 22 – 13.8 – 6.3
BAJA TENSION (V)	480 – 460 – 440 – 208 – 120 – 115

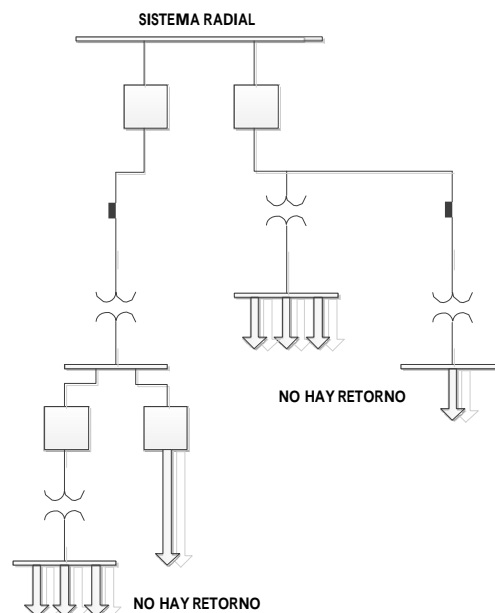
Existen tres tipos de sistemas básicos de distribución los cuales son:

- Sistema radial
- Sistema anillo
- Sistema en malla o mallado

#### 1.2.9.2 Sistema Radial

Un sistema radial es aquel cuya trayectoria es única entre la fuente y carga a la cual proporciona el servicio, en defecto este único camino sin retorno por el cual pasa la corriente al verse afectado no proporcionara energía a la carga ya que no existe un camino de retorno para un mejor desempeño [17].

En la figura 1.9 podemos observar el sistema radial que su forma de distribución es al de una rama.



**Fig. 1.9:** Diagrama tipo radial

**Fuente:** K. Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008, p. 1100

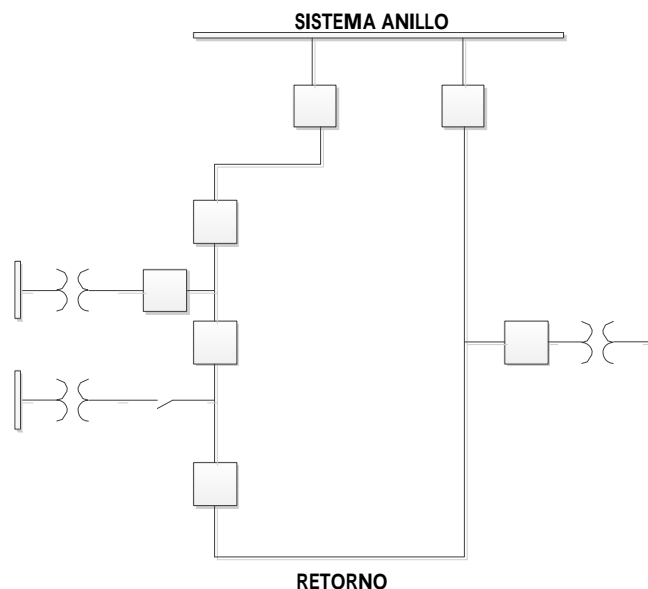
Este tipo de sistemas es el más simple y el más económico debido a que es el arreglo que utiliza menor cantidad de equipos, sin embargo tiene varias desventajas entre las que podemos hacer notar las siguientes.

- El mantenimiento de los interruptores se complica debido a que hay que dejar fuera de servicio parte de la red.
- Son los menos confiables ya que una falla sobre el alimentador primario principal afecta a toda la carga.

### 1.2.9.3 Sistema Anillo

El sistema en anillo es aquel que cuenta con más de una trayectoria entre las fuentes y la carga para proporcionar el servicio de energía eléctrica.

Este sistema comienza en la estación central y hace un ciclo completo por el área a abastecer y regresa al punto de donde partió. Lo cual provoca que el área sea abastecida por ambos extremos. Permitiendo aislar ciertas secciones en caso de alguna falla [18].



**Fig.1.10:** Sistema tipo anillo

**Fuente:** K. Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008, p. 1100

Una de las ventajas principales que obtenemos con este sistema es que permite la continuidad de servicio aunque no exista el servicio en algún transformador de línea.

Si el mantenimiento se efectúa en uno de los interruptores normalmente cerrados al dejarlo desenergizado el alimentador respectivo se transfiere al circuito vecino previo cierre automático del interruptor de amarre [12].

#### 1.2.9.4 Usuario Final

El usuario final es la última parte de un sistema eléctrico de potencia, pues luego de haber pasado por las otras etapas la energía eléctrica al fin llega hasta un hogar, para ser consumida, en este punto se dispone de un contador o medidor de energía eléctrica, mismo que permite conocer de forma mensual el consumo del cliente.

### 1.3 ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA

#### FLUJOS DE POTENCIA

Debido a un gran crecimiento de la carga han hecho que el estudio de flujos de potencia tenga gran importancia ya que de ellos dependerá el crecimiento y la expansión del mismo así como un mejor funcionamiento del sistema ya existente. Con los flujos podemos determinar la magnitud y el ángulo de voltaje en cada barra de una red de potencia bajo condiciones específicas de operación [19].

Para resolver el problema de flujos de potencia existen dos métodos:

Se puede usar las admitancias propias y mutuas que componen la barra (Y).

O se puede utilizar la impedancia del punto de operación y el punto de transferencia (Z)

Además de lo mencionado anteriormente se debe conocer los valores nominales de los transformadores, sus impedancias, las capacidades de los capacitores de derivación y la toma de los transformadores [5].

El método más utilizado para resolver flujos es el de Newton Raphson.

#### 1.3.1 NEWTON RAPHSON

La expansión en serie para una función en dos o más variables es la base de este método para la resolución de flujos de potencia.

Para la resolución de flujos de potencia con Newton-Raphson los voltajes de las barras así como las admitancias de las líneas deben expresarse en forma polar como se muestra en (1.3) y (1.4).

$$V_i^2 = |V_i|^2 + \sum_{j=1}^n |V_j| |Y_{ij}| (V_j \cos(\theta_{ij} - \theta_i) + V_j \sin(\theta_{ij} - \theta_i)) \quad (1.3)$$

Donde:

$$i=1$$

$V_i$ : es el voltaje de la barra,

$P_i$ : es la potencia real,

$Y_{in}$ : representa la admitancia

$$Q_i = |V_i|^2 \sum_{j=1}^n |Y_{ij}|^2 (V_j \cos \theta_{ij} + V_i \sin \theta_{ij}) \quad (1.4)$$

Donde:

$Q_i$ : representa la potencia reactiva de la red.

### 1.3.3 MÉTODO DE GAUSS – SEIDEL

El método de Gauss – Seidel (GS) es un algoritmo iterativo para resolver un sistema de ecuaciones algebraicas no lineales. Para iniciar con este método lo primero es general un vector solución, basándose en la guía de la experiencia práctica en una situación física. Entonces una de las ecuaciones se utiliza para obtener el valor revisado de una variable particular al sustituir en ella los valores presentes de las restantes variables. El vector solución se actualiza de manera inmediata con respecto a estas variables. Una vez realizado esto el proceso se repite con todas las variables hasta concluir con la iteración.

El proceso de iteración se repite hasta que el vector solución converja dentro de una exactitud prescrita [20].

Par explicar cómo se aplica el método de GS para obtener un flujo de carga, suponga que todos los buses distintos del de referencia son buses PQ. Durante el curso de cualquier iteración el voltaje revisado en el  $i$ -enésimo bus se obtiene de acuerdo a:

$$V_i = \frac{(V_i - V_i^*)}{Y_{ii}^*} \quad (1.5)$$

Donde  $V_i$  es:

=

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}^*} [P_i - \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij}^* V_j] \quad (1.6)$$

Si sustituimos  $J_i$  en de la ecuación (2.1) en (2.2) tenemos:

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}^*} \left[ \frac{(P_i - Q_i \tan \theta_{ii})}{V_i} - \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij}^* V_j \right]; i = 2, 3, \dots, n \quad (1.7)$$

#### **1.4 SITUACIÓN ACTUAL DEL ECUADOR - SNI**

El crecimiento del sector eléctrico debe ser estratégico por que debe garantizar el

abastecimiento energético principalmente mediante el incremento de la participación de la generación hidroeléctrica que permitirá reducir la generación térmica.

Esto debe ser complementado con la inserción paulatina del país en el manejo de otras fuentes de energía renovable como serian: energía solar, eólica, geotérmica, de biomasa, mareomotriz, estableciéndose como energías sostenibles a largo plazo [21].

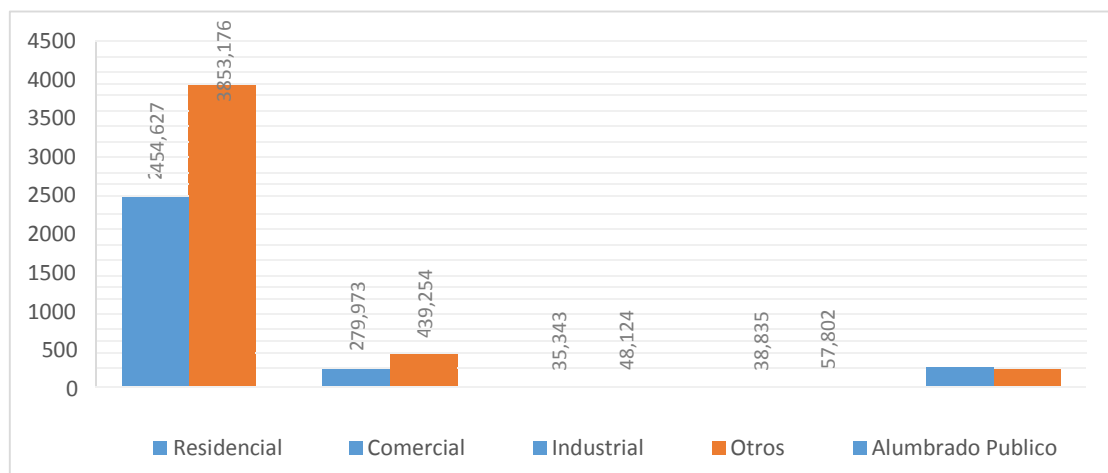
La eficiencia eléctrica tiene en cuenta todos los cambios que resultan en una disminución de la cantidad de energía necesaria para producir una unidad de actividad económica o satisfacer los requerimientos energéticos que requieren las personas.

#### 1.4.1 Evolución del Sector el Eléctrico

El crecimiento de la demanda eléctrica está marcado por la cantidad de potencia y horario de consumo es decir el grupo de consumo que pertenece, entre los cuales tenemos:

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Alumbrado Publico

En la siguiente figura (1.11) se muestra el crecimiento decenal de cada uno de los grupos [16].

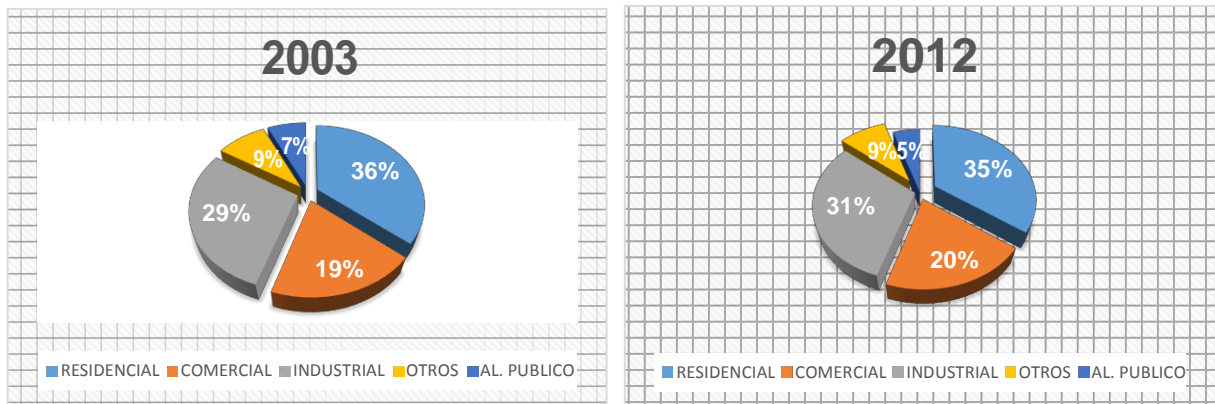


**Fig. 1.11:** Evolución decenal de clientes por grupo de consumo  
**Fuente:** CONELEC, “Estudio y Gestion de la Demanda Electrica.”

En la figura (1.11) se puede observar:

Un crecimiento del 73% de los clientes residenciales y comerciales, en lo que se refiere al sector industrial que creció en un 49% , el número de clientes otros crecio en un 68% mientras que el grupo de clientes de alumbrado público se redujo en un 25% debido a la regulación del CONELEC 008/11.

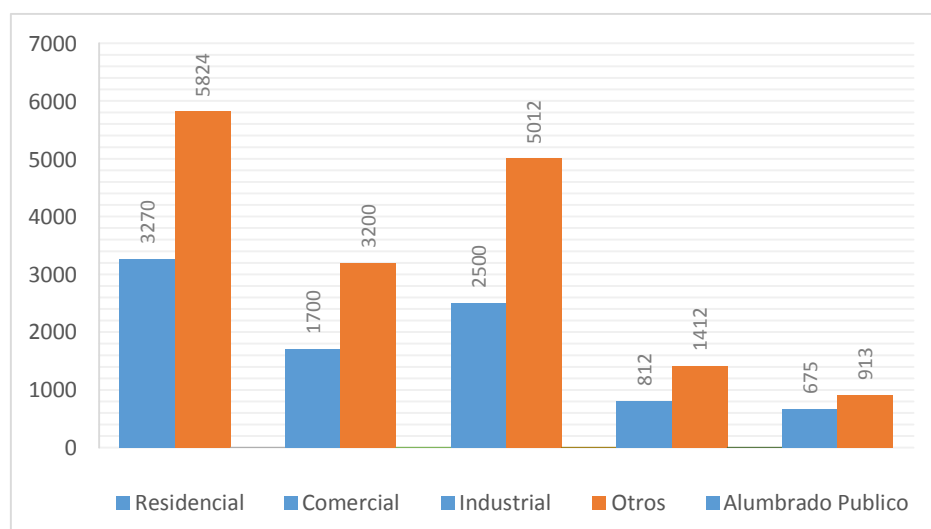
La estructura del consumo de energía entre los años 2003 y 2012 ha presentado una mayor participación de los sectores industrial y comercial [22]. En la figura 1.9 podemos observar cómo ha crecido el sector industrial y comercial a lo largo de 9 años



**Fig. 1.12:** Participación del consumo años 2003 y 2012

**Fuente:** CONELEC, “Estudio y Gestion de la Demanda Electrica,” vol. 1, p. 206, 2013

El consumo de energía a nivel nacional en la última década ha experimentado el mayor crecimiento en el sector industrial con un 94%, mientras tanto en el sector comercial experimento un crecimiento del 89%, seguida del sector residencial con un 72%, el sector de otros tuvo un crecimiento del 74%, y el sector de menor crecimiento a sido la de alumbrado público con un 35%, como se puede ver en la figura (4.3)



**Fig. 1.13:** Evolución decenal de energía por grupo de consumo

**Fuente:** CONELEC, “Estudio y Gestion de la Demanda Electrica,” vol. 1, p. 206, 2013

#### 1.4.2 Política Nacional del sector Eléctrico

En la política de nacional del sector eléctrico se determina algunos puntos importantes

para el crecimiento del sistema nacional energético entre las cuales tenemos:

1. Incrementar la capacidad de generación para garantizar el abastecimiento
2. Aprovechar la energía renovable (cambio de matriz productiva)
3. Uso eficiente de la energía
4. Calidad de servicio y mejoramiento del sistema

Con la nueva política se han desarrollado un sin números de proyectos en los cuales tenemos, para la generación 8 proyectos hidroeléctricos y el primer parque eólico en el Ecuador [16].

Puesta en operación de siete centrales térmicas

Con los ocho proyectos hidroeléctricos lo que se busca es el incremento de la oferta en 2.773 MW, duplicando la capacidad hidroeléctrica del Ecuador.

En la siguiente tabla se muestra la potencia estimada con los nuevos proyectos hidroeléctricos y la fecha de operación de los mismos.

**Tabla 1.2: Proyectos Hidroeléctricos del Ecuador**

<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>INICIO DE OPERACIÓN</b>	<b>POTENCIA INSTALADA MW</b>
Coca codo Sinclair	Napo, Sucumbíos	ene-16	1.500
Sopladora	Azuay, Morona Santiago	dic-14	487
Toachi Pilaton	Pichincha, Cotopaxi, Santo Domingo	ene-15	253
Minas-San Francisco	Azuay	dic-15	270
Delsitanisagua	Zamora Chinchipe	dic-15	115
Mazar Dudas	Cañar	ene-14	21
Manduriacu	Pichincha	sep-14	60
Quijos	Napo	dic-15	50
<b>TOTAL GENERACION HIDROELECTRICA</b>			<b>2.756</b>
Villonaco	Loja	dic-12	16,5
<b>TOTAL GENERACION EOLICA</b>			<b>16,5</b>
<b>TOTAL PROYECTOS EMBLEMATICOS</b>			<b>2.772,5</b>

**Fuente:** CONELEC “Estudio y Gestion de la Demanda Electrica,” vol. 1, p. 206, 2013

Incremento de la oferta en 2773 MW, duplicando la capacidad hidroeléctrica del Ecuador.



**Tabla 1.3: Proyectos Térmicos del Ecuador**

<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>POTENCIA INSTALADA MW</b>
Conversión de 6 turbinas a gas natural	120
Proyecto Termoeléctrico Fuel Oil (Santa Elena, Quevedo, Miraflores, Sacha, Jaramillo, Jivino)	450
Ciclo Combinado Machala	170
<b>TOTAL PROYECTOS</b>	<b>740</b>

**Fuente:** CONELEC “Plan maestro de electrificación,” vol. 1, p. 32, 2009.

## **CAPÍTULO II**

### **FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Para poder introducirnos en lo que son fallas de las líneas de transmisión primero debemos conocer las características de las mismas.

Las características de las líneas de transmisión se determinan por sus propiedades eléctricas, la constante eléctrica del aislante y sus propiedades físicas como el diámetro y su distancia del conductor.

Estas propiedades a su vez nos determinaran las constantes eléctricas primarias:

- Resistencia
- Inductancia
- Capacitancia en derivación
- Conductancia en derivación

De esta manera tenemos que la resistencia y la inductancia la encontramos a lo largo de la línea de transmisión, mientras que la capacitancia y la conductancia la encontramos entre conductores y tierra.

#### **2.1 DEFINICIÓN DE FALLAS**

La transferencia de potencia real y reactiva sobre una línea de transmisión, en una red integrada se rige por la impedancia de la línea las magnitudes de la tensión y de la diferencia angular del voltaje en los extremos de la línea de tal manera que la línea se comporte de tal manera que mantenga la estabilidad de la red.

Los sistemas eléctricos de Transmisión están sometidos a diversos fenómenos que producen distintos tipos de eventos o fallas eléctricas. Entre los eventos físicos que se pueden presentar tenemos como causantes de falla son vientos, incendios, descargas atmosféricas, fallas de maniobras, etc [23].

Las fallas producidas afectan a nuestro sistema importantemente con lo que esto afecta a la calidad de energía.

##### **2.1.1 Calidad de Energía**

Se dice que la calidad de energía es la que se suministra a los equipos y dispositivos con características adecuadas que le permitan trabajar de manera continua sin que esta le afecte su desempeño y no se provoque fallas a sus componentes [24].

Claro está que se debe diferenciar que no es esencialmente posible tener un buen control

de esto ya que lo que puede ser una buena energía para una refrigeradora no puede ser así para un aparato electrónico. Dicho de otra manera para obtener un buen control de energía se debe conocer en que se va a emplear las industrias buscan obtener una buena calidad de energía debido a que con ello aumentan su capacidad de producción [25].

Existen algunos parámetros que afectan la calidad de energía entre los cuales tenemos.

- Variación de frecuencia.
- Variación de amplitud.
- Variación de forma de onda de voltaje o corriente.
- Desbalanceo entre fases.

La variación de frecuencia que es muy raro que exista ya que la empresa distribuida es la que controla dicho parámetro pero puede cambiar debido al incremento de la carga de un motor-generador. Ya que esta depende de su velocidad.

La variación de la forma de onda de la corriente o voltaje es producida por cargas no lineales denominada distorsión armónica [25].

El desbalanceo de las fases es provocado cuando se conectan cargas monofásicas que no son iguales y su efecto se ve reflejado en máquinas rotativas.

### **2.1.2 Efectos de los Armónicos en la red Eléctrica**

La presencia de armónicos sobre una red eléctrica conlleva a un sin número de problemas entre los cuales tenemos.

- Sobre calentamiento de los conductores
- Disminución del factor de potencia en una instalación y envejecimiento e incluso la destrucción de las baterías de condensadores utilizadas para su control
- Deterioro de la forma de tensión y por ende mal funcionamiento de los equipos eléctricos.
- En los equipos de medida y control se dan valores de magnitudes incorrectas, interferencia con los sistemas de control y comunicación [25].

### **2.1.3 Soluciones de los Armónicos en la red Eléctrica**

Entre las posibles soluciones para la presencia de armónicos tenemos la instalación de filtros pasivos como impedancias anti armónicas que consisten en elementos pasivos como inductancias y condensadores.

Un sobre dimensionamiento de los conductores ayudara a disminuir el sobre calentamiento en los conductores.

Se puede evitar la presencia de resonancias en los bancos de condensadores añadiendo un inductor de línea en serie al condensador para separar la frecuencia de resonancia de la respuesta del sistema [26].

## 2.2 CLASIFICACIÓN DE FALLAS

Una falla eléctrica puede ocurrir en cualquier parte de un sistema eléctrico de potencia esto quiere decir que se puede producir una falla en la línea de transmisión del sistema, en los terminales de un transformador, en terminales de carga dinámicas, etc.

Generalmente las fallas se clasifican en dos grupos importantes los cuales tenemos:

- Fallas simétricas y
- Fallas asimétricas.

### 2.2.1 Fallas Simétricas

Los sistemas de potencia por razones económicas y técnicas suelen ser trifásicos simétricos y en condiciones normales de operación son trifásicos balanceados esto quiere decir que sus fasores de tensión en cualquier punto poseen igual magnitud [27].

La falla simétrica es también conocida como falla trifásica y tiene lugar cuando las tres líneas de transmisión o un punto de cada una de ellas tiene contacto entre si simultáneamente.

Es una de las fallas menor incidencia pero de mayor afectación al sistema eléctrico de potencia. Los cálculos de corto circuito trifásico se requieren para la adecuada selección de la capacidad de accionamiento de las protecciones a instalarse [5].

$$I_{f3\phi} = 0 \quad V_{f3\phi} = V_{f3\phi} = (V_{f3\phi} + V_{f3\phi})Z_f \quad (2.1)$$

Donde:

$I_{f3\phi}$ : es la corriente de falla.

$V_{f3\phi}$ : es el voltaje en el punto kb donde se produce la falla.

Z: es la Impedancia.

### 2.2.2 Fallas Asimétricas

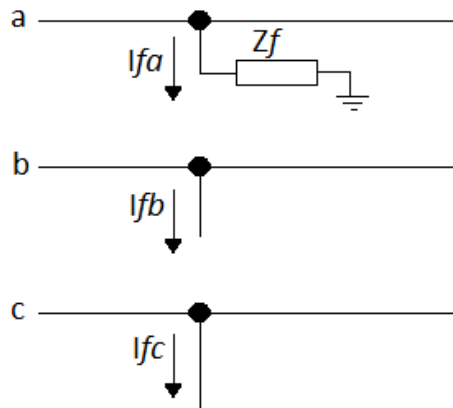
Las fallas asimétricas consisten en condiciones desbalanceadas que ponen en riesgo la operatividad del sistema de potencia. Las fallas asimétricas se pueden distinguir de la siguiente manera [28].

- Fallas monofásicas a tierra o línea a tierra
- Fallas bifásicas o falla línea línea
- Falla doble línea a tierra

### 2.2.2.1 Fallas monofásicas. (L.G)

Las fallas monofásicas son los más incidentes en el sistema eléctrico de potencia que son originadas por descargas originales o por los conductores al hacer contacto con las estructuras aterrizadas [5].

En la figura 2.1 se muestran los segmentos para una falla monofásica a tierra,



**Fig. 2.1:** Diagrama esquemático de una falla monofásica

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

Las condiciones en la barra que ha fallado se expresa mediante (2.2):

$$V_a = 0 \quad I_b = 0 \quad I_c = I_a \quad (2.2)$$

Donde:

$I_a$ : es la corriente de falla.

$V_a$ : es el voltaje en el punto kb donde se produce la falla.

Z: es la Impedancia.

La corriente de falla para el caso de la falla monofásica a tierra a través de una impedancia se calcula de la siguiente expresión (2.3).

$$I_a^{(0)} = I_a^{(1)} = I_a^{(2)} = \frac{V_a}{Z^{(1)} + Z^{(2)} + Z^{(0)} + 3Z} \quad (2.3)$$

$I_a$ : es la corriente de falla.

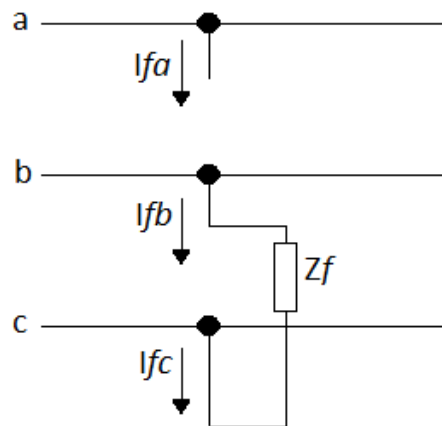
$V_a$ : es el voltaje en la falla.

Z: es la Impedancia.

### 2.2.2.2 Falla Línea a línea

Este tipo de falla son de poca incidencia pero la misma presenta una corriente elevada que acciona sus protecciones las mismas que son diferenciales.

En la figura 2.2 se muéstralos segmentos para una falla línea línea.



**Fig. 2.2:** Diagrama esquemático de una falla línea línea

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

Considerando que la falla se encuentra en las fases b y c, las siguientes relaciones satisfacen en el punto de falla.

$$I_{fa} = 0 \quad I_{fb} = -I_{fc} \quad I_{fb} = I_{fc} \quad (2.4)$$

$I_{fa}$ : es la corriente de falla.

$V_{fb}$ : es el voltaje en la falla.

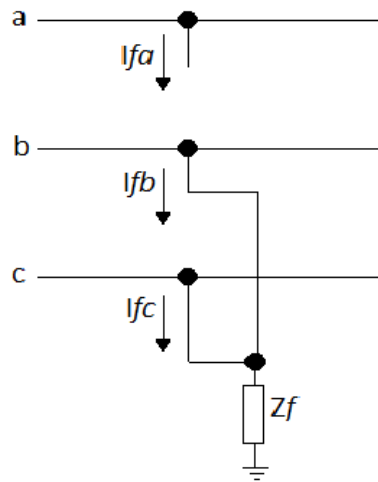
Z: es la Impedancia.

La ecuación (1.6) es la corriente de falla para una falla línea a línea, a través de una impedancia  $Z_f$ .

$$I_{fa}^{(1)} = -I_{fb}^{(2)} = \frac{V_{fb}}{Z_{fa}^{(1)} + Z_{fb}^{(2)} + Z_f} \quad (2.5)$$

### 2.2.2.3 Falla doble línea a tierra (LLG)

El valor de la corriente de corto circuito bifásico se emplea para calcular los esfuerzos electrodinámicos en las barras, además para la coordinación de protecciones.[1]



**Fig. 2.3:** Diagrama esquemático de una falla bifásica a tierra

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

Como se mencionó en el caso anteriormente la falla se encuentra en las fases b y c. por tal motivo tenemos la siguiente relación que existe en la barra que a fallado.

$$V_a = 0 \quad V_b = V_c = (V_b + V_c) \quad (2.6)$$

### 2.2.2.3 Fallas Abiertas

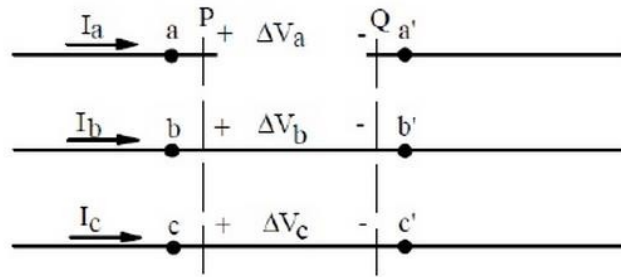
Las fallas de conductor abierto o de fases abiertas son los defectos producidos por la interrupción de una o varias fases sin contacto con otra fase o tierra simultáneamente. Aunque este tipo de fallas no producen corrientes elevadas provocan la circulación de corrientes de secuencia negativa que son peligrosas para los equipos ya que producen calentamiento en los mismos [12].

Por lo que tenemos la siguiente clasificación de las mismas:

- Fallas de una fase abierta
- Falla de dos fases abiertas

### 2.2.2.3 Una fase abierta

Esta falla ocurre cuando se emplean elementos de apertura individual a cada una de las fases como fusibles o interruptores mono polares o cuando el conductor queda suspendido de tal forma que no hace contacto con otra fase o con la tierra.



**Fig.2.4:**

*Representación esquemática de una falla de una fase Abierta*

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

De acuerdo a la figura 2.4 se pueden acotar las siguientes consideraciones para la falla:

$$\phi\phi = 0$$

$$\Delta \dot{V}_{\phi} = \Delta \dot{V}_{\phi'} = 0$$

Es decir que:

$$\phi\phi = \phi'\phi =$$

$$0$$

$$\phi\phi = \phi'\phi' \quad \phi\phi =$$

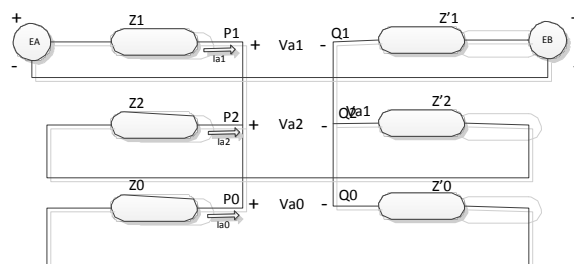
$$\phi\phi - \phi'\phi = \phi\phi - \phi'\phi = 0$$

Las componentes simétricas de la corriente y de la caída de voltaje quedan de la siguiente manera:

$$\phi\phi_0 + \phi\phi_1 + \phi\phi_2 = 0 \quad (2.7)$$

$$\Delta \dot{V}_{\phi_0} + \Delta \dot{V}_{\phi_1} + \Delta \dot{V}_{\phi_2} = \frac{1}{3} \Delta \dot{V}_{\phi} \quad (2.8)$$

De acuerdo a las condiciones de falla en el marca de referencia en el indica que las tres redes de secuencia correspondientes a la fase abierta deben se conectadas en paralelo como se muestra en la siguiente figura 2.5.





**Fig. 2.5:** *Conexión de las mallas de secuencia para una falla de fase abierta*

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

Debido a que la secuencia positiva y cero de la malla son pasivas su efecto es el de

intercalar la impedancia debido a lo cual tenemos:

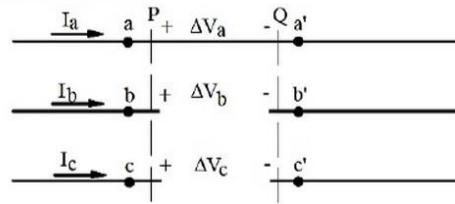
$$Z_{20} = \frac{Z_{20} * Z_{00}}{Z_{20} + Z_{00}} \quad (2.9)$$

Entre los bornes P y Q de la malla de secuencia positiva. Por lo cual aumenta la impedancia serie de la malla de secuencia positiva, lo implica que se reduce la corriente y en consecuencia la potencia activa transmitida.

Es conveniente indicar que  $Z_{0pq}$  y  $Z_{2pq}$  son las impedancias equivalentes vistas en esas mallas desde los puntos P y Q.

#### 2.2.2.4 Dos fases abiertas

Este caso es similar al anterior pero con menor frecuencia, se asume que la falla sucede en los puntos b y c, en el punto de falla presenta las siguientes condiciones [10].



**Fig. 2.6:** Representación esquemática de una falla de dos fases abiertas

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

De la figura anterior podemos acotar las siguientes consideraciones.

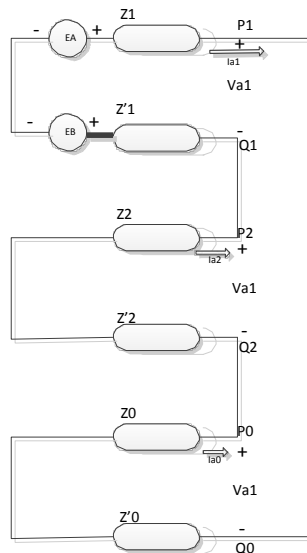
$$\begin{aligned} I_a &= I_b = I_c = I_f \\ &= 0 \\ V_a &= V_b = V_c \\ \Delta V_a &= 0 \Rightarrow V_a - V_f = 0 \end{aligned}$$

Por lo tanto las componentes simétricas de falla tanto para la corriente como para la caída de voltaje quedan de la siguiente manera.

$$I_{f0} = I_{f1} = I_{f2} \quad (2.10)$$

$$\Delta V_{f0} + \Delta V_{f1} + \Delta V_{f2} = 0 \quad (2.11)$$

A partir de las ecuaciones enunciadas anteriormente la conexión de la malla de secuencia quedaran conectadas en serie como se indica en la siguiente figura 2.6.



**Fig. 2.6** Conexión de la mallas de secuencias para una falla de dos fases abiertas.  
**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

De acuerdo al circuito de la figura 2.6 se puede decir que este tipo de falla equivale a intercalar una impedancia.

En los bornes P1 y Q1 de la malla de secuencia positiva. Con ello se reduce la potencia activa transitoria en el sistema en una cantidad mayor que para el caso de una fase abierta, ya que la impedancia es demasiado alta.

### 2.2.3 Protecciones en Líneas de Transmisión.

Como objetivo principal de una protección es remover lo más rápido posible de servicio cualquier equipo de potencia que empiece a operar de manera anormal.

Dado que la estabilidad transitoria está relacionada con la habilidad que tiene el sistema de potencia para mantener el sincronismo cuando está sometido a grandes perturbaciones, el comportamiento satisfactorio de los sistemas de protección es importante para asegurar la estabilidad del mismo [29].

Para que un sistema de protecciones pueda cumplir con su objetivo debe cumplir con las siguientes características:

- Sensibilidad
- Selectividad
- Rapidez
- Confiabilidad

### Sensibilidad

Una protección debe saber distinguir las diversas situaciones en las que se presenten las fallas y saber distinguir las pequeñas variaciones que existen en su entorno por ejemplo podemos decir que al poner en funcionamiento un transformador este produce una fuerte intensidad de vacío llamada corriente de inrush dicha corriente puede prestarse a interpretaciones erróneas. De tal manera que la sensibilidad de la protección al ser ubicada esta debe distinguir dicha corriente [30].

### Selectividad

La selectividad es una cualidad que deben tener la mayoría de protecciones para así detectar un determinado tipo de anomalía en un determinado componente o equipo del sistema de potencia, y en consecuencia dar la orden para que se accionen los diferentes disyuntores que controla para así despejar la falla [31].

### Rapidez

Tras ser detectada una falla lo más importante es limitar la duración de la misma haciendo que los disyuntores actúen lo más rápido posible, ya que si es menor es el tiempo de duración de la falla menor será la extensión de la falla por el sistema.

### Confiabilidad

Una protección es confiable si tiene la probabilidad de cumplir la función encargada sin fallar durante un periodo de tiempo con fiabilidad y efectividad ante cualquier evento que se produzca [32].

#### **2.2.3.1 Protecciones Principales y de Respaldo**

Existen dos razones principales por la cual se deben utilizar protecciones de respaldo que son:

- Que es para asegurar que en caso de que falle la protección principal en despejar una falla la protección de respaldo lo realice [33].
- Es para proteger aquellas partes del sistema de potencia que la protección principal no protege debido a la ubicación de sus transformadores de medida [34].

La idea principal de una protección de respaldo es abrir todas las fuentes de alimentación a una falla no despejada en el sistema. Para realizar esto con alta eficiencia la protección de respaldo debe cumplir con:

- Reconocer la existencia de fallas que ocurren dentro de su zona de protección.
- Detectar cualquier elemento en falla en la cadena de protecciones incluyendo los interruptores [35].

- Iniciar el disparo de la mínima cantidad de interruptores para eliminar la falla
- Operar lo suficientemente rápido para mantener la estabilidad del sistema y mantener la continuidad del servicio.

Entre las protecciones más importantes para proteger la línea de transmisión tenemos:

- Relé de Sobrecorriente
- Relé de distancia

#### Relé de Sobrecorriente

Los relés de sobre corriente son la forma más simple de proteger una línea de transmisión, pero además es una protección que necesita ser reajustada cuando cambia las condiciones del sistema potencia. Son utilizados de la siguiente forma [36].

- Instantáneo
- Temporizado
- Direccional (Instantáneo y/o temporizado)

#### Relé de Sobrecorriente Instantánea

Este tipo de relés tiene un tipo de respuesta entre los 10 a 60 milisegundo tal característica es considerada como que su tiempo de respuesta es inmediato. Por lo que se la corriente de falla es mayor a la corriente de arranque este inmediatamente abre el disyuntor [37].

#### Relé de Sobrecorriente Temporizado

Se puede decir que un relé de sobrecorriente temporizado actúa después de haber transcurrido un tiempo ósea que espera que la corriente de falla supere a la corriente de arranque y además que esta sea permanente por un tiempo determinado para abrir el disyuntor caso contrario de no cumplir con las condiciones mencionadas anteriormente el disyuntor no se abrirá [38]. Este tipo de protecciones podemos observarlas en los generadores ya que al arranque estos producen unos transitorios altos, pero no son permanente son instantáneos [39].

#### Relé de Sobrecorriente Direccional

No puede discriminar entre la corriente de falla y la corriente de carga por lo cual solo se emplean cuando la corriente de falla es mayor a la corriente de carga [40].

#### Relé de Distancia

En los circuitos de transmisión los niveles de corriente de falla son altos por lo cual si una falla no es despejada rápidamente puede causar inestabilidad en el sistema [41].

Entre varias ventajas que tenemos en comparación al relé de sobretensión tenemos:

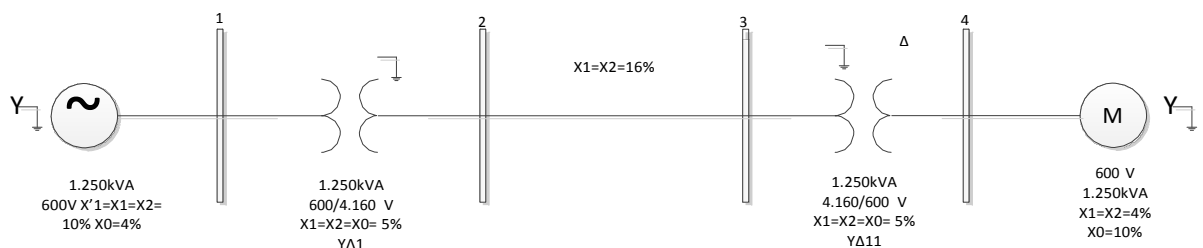
- Mayor zona de operación instantánea
- Mayor sensibilidad
- Mayor facilidad de ajuste y coordinación
- No son afectados por los cambios en la configuración del sistema.

Un relé de distancia calcula la impedancia como el cociente entre la tensión y la corriente en su ubicación en el sistema de potencia para determinar si existe una falla dentro o fuera de su zona de protección [42].

## 2.3 CÁLCULO DE FALLA

El cálculo de fallas se llevara acabo de las fallas de una fase abierta y de dos fases abiertas.

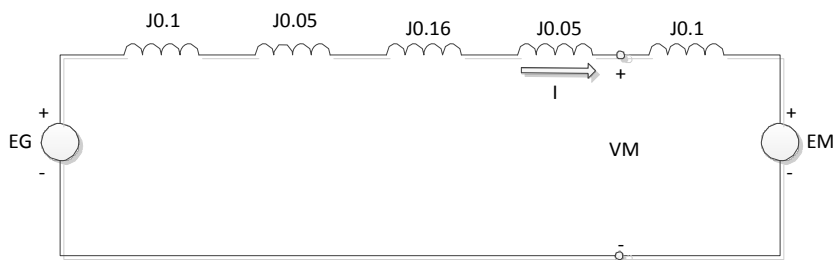
El sistema de la figura 2.7 se abre la fase “a” en la barra 3 cuando el motor M está recibiendo el 80% de su potencia nominal con su tensión en bornes. Factor de potencia 0.8 inductivo. Calcular la potencia del motor en kVA y la corriente en los neutros de los transformadores en estas condiciones. Datos en % en base común 1.250 kVA.



**Fig. 2.7 SEP de cuatro barras**

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

Primero se realizara el circuito equivalente por secuencia.



**Fig. 2.8 Circuito Equivalente**

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

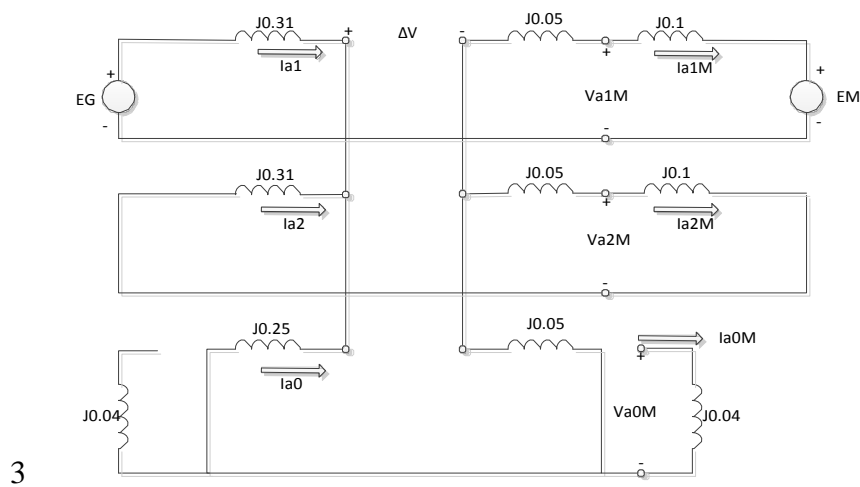
Con ello obtendremos lo siguiente.

$$\phi = \frac{\phi}{\phi} = 0.8 < -36.87$$

$$\phi\phi = 1.1952 < 11.11$$

$$\phi\phi = 0.9542 < -3.85$$

Como se queda sin una fase la secuencia es en paralelo.



**Fig. 2.9** Circuito Paralelo impedancias

**Fuente:** Grainger, *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003, p. 816.

Por lo que tenemos:

$$\phi_{20} = \frac{0.46 * 0.3}{0.46 + 0.3} = 0.1816$$

$$\phi\phi\phi = 0.5736 < -36.87$$

$$\Delta\phi = \phi\phi\phi *$$

$$\phi_{20}$$

$$\Delta\phi = 00.1042 < 53.13$$

$$\phi\phi_{2\phi} = \frac{\Delta\phi}{\phi_2} = 0.2265 < 143.13$$

$$\phi\phi_{0\phi} = 0 \Rightarrow \phi\phi_{0\phi} = 0$$

$$\diamond_{\diamond_1 \diamond} = 0.9865 < -1.06$$



$$V_{20} = 0.02265 < -126.87$$

Potencia que llega al motor

$$P_{3F} = 3(V_{00} * V_{00} + V_{01} * V_{01} + V_{02} * V_{02})$$

$$P_{3F} = 1.7077 < 36.23 \text{ (W)}$$

Corrientes en los neutros de los transformadores en Amperes

$$I_n = \frac{1.250 * 10^3}{\sqrt{3} * 4.160}$$

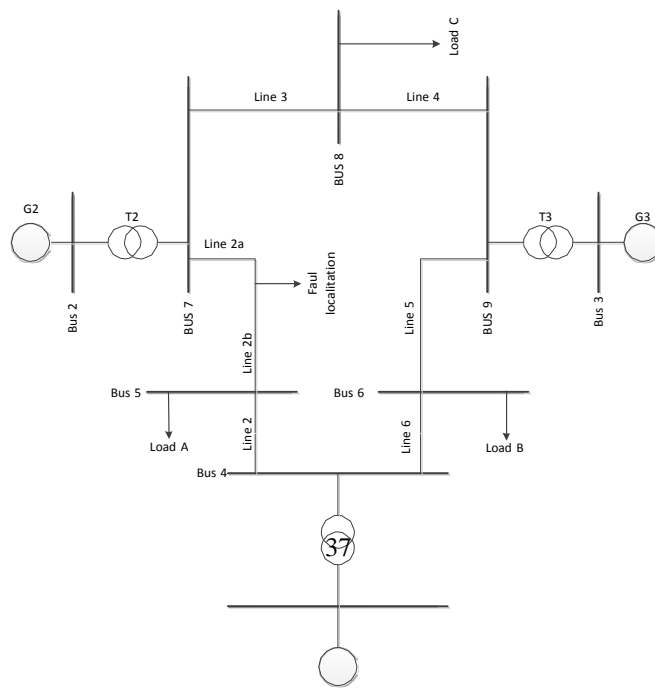
$$I_n = 173.48$$

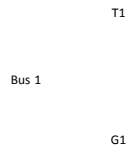
$$I_{n0} = 1.0419 < -36.87 * 173.48$$

$$I_{n0} = 180.75 < -36.87$$

## 2.4 SIMULACIÓN Y EMULACIÓN UN SEP

En este ítem se realizara la simulación de un Sistema Eléctrico de potencia de un sistema de nueve barras el cual se presenta a continuación en la fig. 2.10. Dicho circuito es el empleado por la IEEE en simulaciones y pruebas.





**Fig. 2.10** *Sistema IEEE de 9 barras*  
**Fuente:** “DigSilent Power Factory”.

Utilizando un software de simulación de flujos de potencia que para nuestro caso utilizaremos el “DigSilent Power Factory”, en el cual ingresaran los datos pertinentes de un sistema de nueve barras.

Como primer punto se realizará la simulación del sistema de nueve barras en condiciones normales esto implica que en el sistema no presenta ninguna falla, y que se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento.

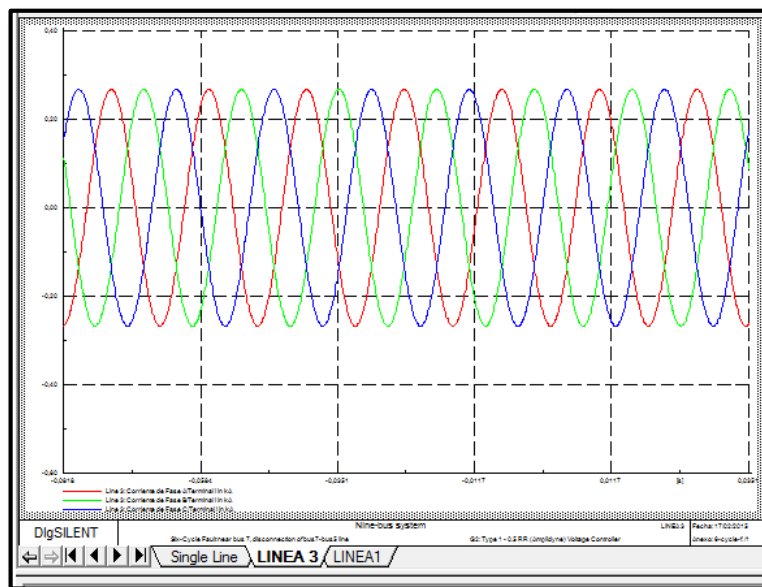
Con el cual se obtienen las siguientes ondas de corriente.

Donde.

Línea 3 corriente fase A —

Línea 3 corriente fase B —

Línea 3 corriente fase C —



**Fig. 2.11:** Formas de onda de un sistema de nueve barras en condiciones óptimas de trabajo en la L3 de las tres fases

**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la figura 2.11 se nota que todas las corrientes se encuentran equilibradas y desfasadas entre sí, a continuación veamos lo que sucede con la corriente que circula por el SEP cuando a la misma línea (L3) se aplican diferentes tipos de fallas como son:

- Falla monofásica
- Falla bifásica
- Falla bifásica a Tierra y

- Falla Trifásica.

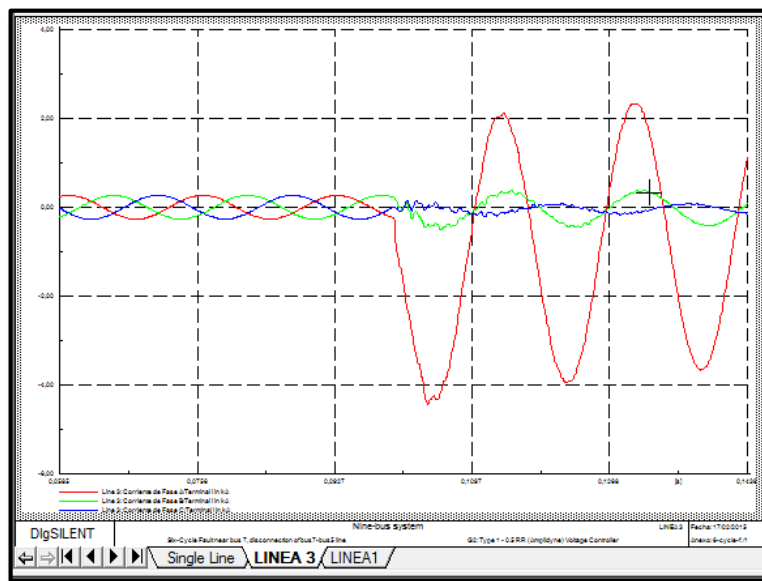
Como segundo punto al mismo circuito de nueve barras se realizara la falla monofásica en la línea 3, de tal manera que se verá que es lo que acontece en el sistema.

Donde.

Línea 3 corriente fase A —

Línea 3 corriente fase B —

Línea 3 corriente fase C —



**Fig. 2.12:** Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla monofásica en la L3

**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la figura 2.12 al ocurrir una falla monofásica en el sistema la corriente en la línea afectada (A) se incrementa superando la corriente nominal de tal manera que afecta a las demás, produciendo sobre ellas algunos picos de corriente y armónicos en la misma.

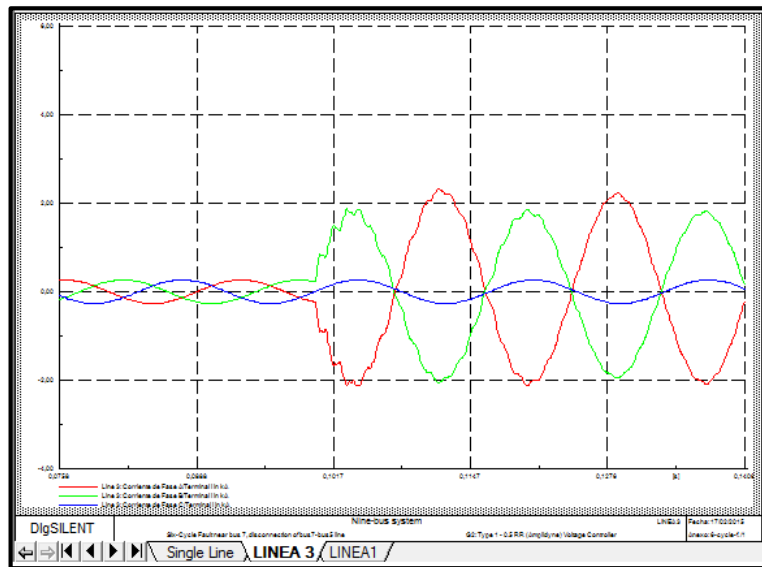
Como tercer punto realizaremos al mismo circuito de nueve barras una falla bifásica en la línea 3, de tal manera que se verá que es lo que acontece en el sistema.

Donde.

Línea 3 corriente fase A —

Línea 3 corriente fase B —

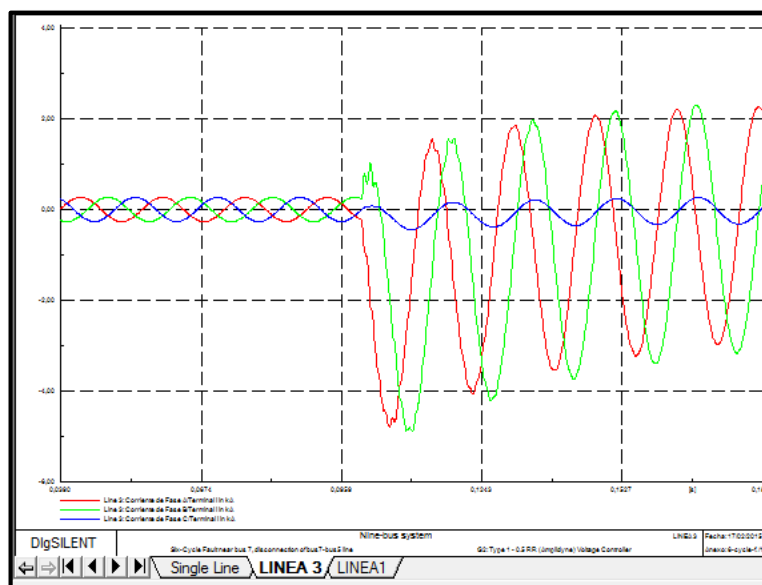
Línea 3 corriente fase C —



**Fig. 2.13:** Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla bifásica en la L3  
Fuente: Autor

Al aplicar una falla bifásica sobre el grupo de líneas (L3) figura 2.13 se puede observar el incremento de la corriente A y B, superando su valor nominal, dichas corrientes se encuentran distorsionadas debido a que presentan armónicos y picos de corriente en la misma.

Como cuarto punto realizaremos al mismo circuito de nueve barras una falla bifásica a tierra en la línea 3, de tal manera que se verá que es lo que acontece en el sistema.



**Fig. 2.14:** Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla bifásica a tierra en la L3  
Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 2.14 se producto de una falla bifásica a tierra las líneas afectadas muestran una mayor elevación de la corriente así como una mayor distorsión en las mismas, que en una falla bifásica.

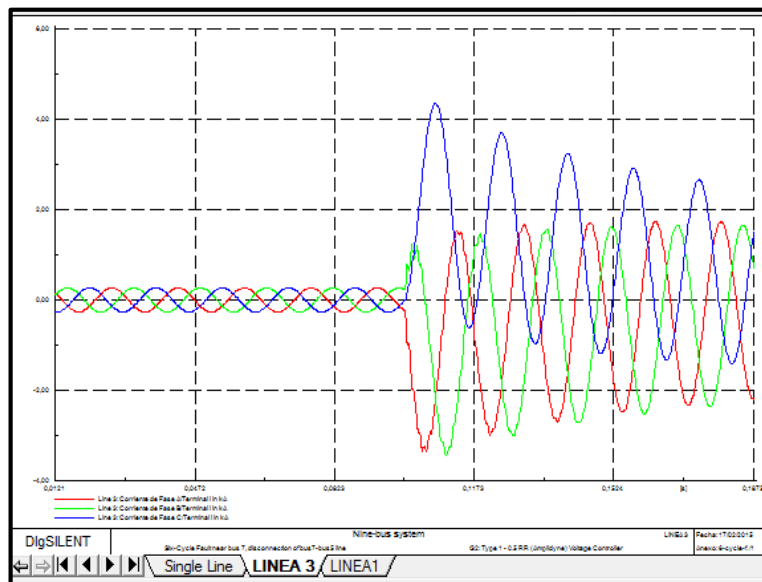
Como quito punto realizaremos al mismo circuito de nueve barras una falla trifásica en la línea 3, de tal manera que se verá que es lo que acontece en el sistema.

Donde.

Línea 3 corriente fase A —

Línea 3 corriente fase B —

Línea 3 corriente fase C —



**Fig. 2.15:** Formas de onda de un sistema de nueve barras en condición de falla Trifásica a tierra en la L3

**Fuente:** Autor

En el anexo A muestra los datos resultantes obtenidos por el programa en la simulación para las diferentes fallas mencionadas anteriormente.

# **CAPÍTULO III**

## **MODELACIÓN EN BASE AL ALGORITMO DE RELIEF EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

Los algoritmos de la familia Relief son métodos de estimación de atributos generalmente tienen una aplicación directa para seleccionar los mejores atributos, aunque también sirven para ramificar un árbol de decisión., los algoritmos de Relief son capaces de detectar dependencias condicionales entre los atributos de escala local.[43]

### **3.1 ALGORITMO DE RELIEF**

Kiba y Rendell propusieron Relief como un método de selección de características. Dicho procedimiento estaba basado en la valoración de las características y en la elección de aquellas que tuvieran un valor mayor de un umbral dado. Dicha valoración estaba dada para problemas lógicos en donde sus resultados debían ser verdadero o falso [44].

Debido a que se presentan algunos inconvenientes Kononenko desarrolla extensiones que puedan trabajar con problemas de clasificación y discriminar valores nulos entre las cuales tenemos:

- Relief-F
- RRelief-F

#### **3.1.1 Relief**

Propuesto por Kiba y Rendell pretende estimar la calidad de los atributos en base a lo bien que ayudan a distinguir la clase entre instancias cercanas en el espacio de atributos. Por ende este modelo es aplicable solo a problemas de clasificación binaria pero los atributos solo pueden ser nominales o numéricos [45].

El esqueleto del algoritmo que calcula la valoración de las características en todas las versiones de relief se muestra en la figura 3.1. Las extensiones varían en los ejemplos vecinos que se buscan y en cómo se realiza el cálculo de la evaluación [46].

RELIEF (*Dataset*, *m*,...)

For 1 to *m*:

$E_1$  = ejemplo de un número randomico de una base de datos.

Vecino = encontrar el vecino más cercano del ejemplo a  $E_1$

For  $E_2$  in Vecino:

Realizar una comparación entre  $E_1$  y  $E_2$

**Fig 3.1:** Algoritmo general de Relief

**Fuente:** A. A. Azofra, *Un sistema Inteligente para seleccion de caracteristicas en clasificacion*, 1st ed. Granada, 206AD, p. 220.

### 3.1.2 Relief-F

Kononenko, revisa el algoritmo de Relief y propone varias extensiones con el fin de hacerlo más robusto y así superar algunas limitaciones. En primer lugar aborda el problema de los valores perdidos y presenta cuatro alternativas, a las que bautiza añadiendo a Relief los sufijos A, B, C o D una vez superado ese punto, plantea dos extensiones basadas en ReliefD (que es la mejor aproximación de la cuatro iniciales) para dar soporte a problemas multi-clase nombrándolas con los sufijos E, F [44].

En esta nueva versión del algoritmo se busca el vecino más cercano por cada clase opuesta. Con los vecinos seleccionados se evalúa la relevancia para cada característica y luego se actualiza su valoración acumulada en un vector de pesos teniendo en cuenta la ecuación 3.1[47]

$$w(F) = w(F) - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [w(F) \times \frac{d(E_i, F) - d(E_i, H)}{d(E_i, F)}] \quad (3.1)$$

Donde:

$H$ ; es el vecino más cercano de  $E_1$ ,

$F$ : es la característica a la que se le asigna el peso y la sumatoria representa el acumulado de diferencias.

La diferencia o distancia entre características es definida como se muestra en la tabla 3.1.



	f es discreta	f es continua
$\diamond\diamond\diamond\diamond(\diamond, \diamond_1,$	$0 \diamond\diamond\diamond\diamond\diamond\diamond(\diamond, \diamond_1) = \diamond\diamond\diamond\diamond$	$ \diamond\diamond\diamond\diamond\diamond(\diamond, \diamond_1) - \diamond\diamond\diamond\diamond\diamond(\diamond, \diamond_2$
$\diamond_2)$	$(\diamond, \diamond_2)$ 1 en otro caso	$\frac{)}{ \max(\diamond) - \min(\diamond) }$

**Tabla 3.1** Diferencia entre característica en RELIEF-F

**Fuente:** S. Milena, R. Martínez, and H. L. Correa, “relevancia basadas en filtros sobre imágenes radiológicas,” pp. 26–34, 2011.

El la figura 3.2 se muestra el algoritmo de Relief F, en su forma básica.

### Relief-F

Entrada:  $\diamond = \{(\diamond_\diamond, \diamond_\diamond)\}_{\diamond=\diamond}$ , conjunto de n instancias etiquetadas.

Salida:  $\diamond \in [-1, 1]^\diamond$ , vector de estimaciones de la calidad de cada atributo

#### Procedimiento.

Paso 1: Inicializar los pesos  $\diamond[\diamond] \leftarrow 0; \diamond = 1, 2, 3, \dots, \diamond$

Paso 2: Generar una permutación aleatoria  $\pi$ , de n elementos.

Paso 3: **for**  $i = 1 \rightarrow \diamond \leq \diamond$  **do**

Paso 4: Encontrar las b instancias más cercana a  $\diamond_{\diamond_\diamond(\diamond)}$  de la misma clase  $(\diamond_\diamond, \diamond = 1, \dots, \diamond)$

Paso 5; **for all**  $\diamond_\diamond \neq \Omega(\diamond_{\diamond_\diamond(\diamond)})$  **do**

Paso 6: Encontrar las b instancias de clase  $C_k$  más cercana a  $\diamond_{\diamond_\diamond(\diamond)}$  ( $M_i(\diamond_\diamond, \diamond = 1, \dots, \diamond)$ )

Paso 7: **end for**

Paso 8: **for**  $\diamond = 1 \rightarrow \diamond$  **do**

Paso 9:  $\diamond[\diamond] \leftarrow \diamond[\diamond] - \frac{\sum_{\diamond=1}^b \diamond\diamond\diamond\diamond(\diamond_\diamond, \diamond_\diamond(\diamond_\diamond))}{\diamond_\diamond(\diamond_\diamond)} \frac{\sum_{C_\diamond \neq \Omega(\diamond_{\diamond_\diamond(\diamond)})} [1 - P(\Omega(\diamond_{\diamond_\diamond(\diamond)}) \in C_\diamond)]}{\diamond_\diamond(\diamond_\diamond)}$

Paso 10: **end for**

Paso 11: **end for**

**Fig 3.2:** Algoritmo básico de Relief F

**Fuente:** A. A. Azofra, *Un sistema Inteligente para seleccion de caracteristicas en clasificacion*, 1st ed. Granada, 206AD, p. 220.

Al observar Relief F, la primera diferencia con respecto a Relief es que en vez de considerar únicamente al vecino más cercano a la instancia analizada en cada interacción, se considera b vecinos más cercanos [48].

Como segunda diferencia tenemos que considerar varias clases en lugar de dos clases.

Se toman los  $b$  vecinos más cercanos de cada una de las  $c$  clases posibles (hay, por tanto,  $b*(c-1)$  instancias pertenecientes a las  $c-1$  clases distintas a  $\Omega(\diamond_{\diamond\diamond(\diamond)})$ ).

La actualización de los pesos  $\Phi[\Phi]$  es, en esencia, igual para c clases que para dos clases. Por lo tanto los cambios son consecuencia natural de considerar b vecinos y de exigir que  $\Phi[\Phi] \in [-1, 1]$ , además al considerar más vecinos, deben sumarse las aportaciones de todos ellos y dividirlas por  $(\Phi * \Phi)$ , en lugar de hacerlo solamente por  $\Phi$ .

Cuando se tienen valores perdidos o desconocidos para alguna o varias instancias,  $\Phi\Phi\Phi\Phi(\Phi, \Phi_1, \Phi_2)$  se calcula de la siguiente manera [46].

Supongamos, sin pérdida de generalidad, que es la instancia I1 para la que se desconoce el valor de  $A_j$ , entonces.

$$\Phi\Phi\Phi\Phi(\Phi, \Phi_1, \Phi_2) = 1 - \mathbb{P}(\psi(\Phi, \Phi_2 | \Omega(\Phi_1))) \quad (3.2)$$

Si el valor de  $A_j$  es desconocido para ambas instancias

$$\Phi\Phi\Phi\Phi(\Phi, \Phi_1, \Phi_2) = 1 - \sum_{\Phi=1}^{\Phi} (\mathbb{P}(\alpha_{\Phi\Phi} | \Omega(\Phi_1)) \times \mathbb{P}(\alpha_{\Phi\Phi} | \Omega(\Phi_2))) \quad (3.3)$$

Las expresiones anteriormente mencionadas solamente permite el manejo de valores perdidos para atributos nominales. Para abordar el caso de atributos continuos existen al menos dos opciones que se mencionan a continuación [49].

- Discretizarlos para poder aplicar las formulas anteriores.
- Suponer que los valores de los atributos siguen una determinada distribución de probabilidad y estimar sus parámetros a partir del conjunto de entrenamiento.

### 3.1.3 RRelief-F

Se ha visto anteriormente que la extensión de Relief para soportar problemas multi-clase y manejo de valores perdidos, no requiere ningún cambio en la esencia de los cálculos del algoritmo. Sin embargo la situación es diferente en problemas de regresión debido a que la variable es continua y por lo tanto no denominan clases de manera categórica [50].

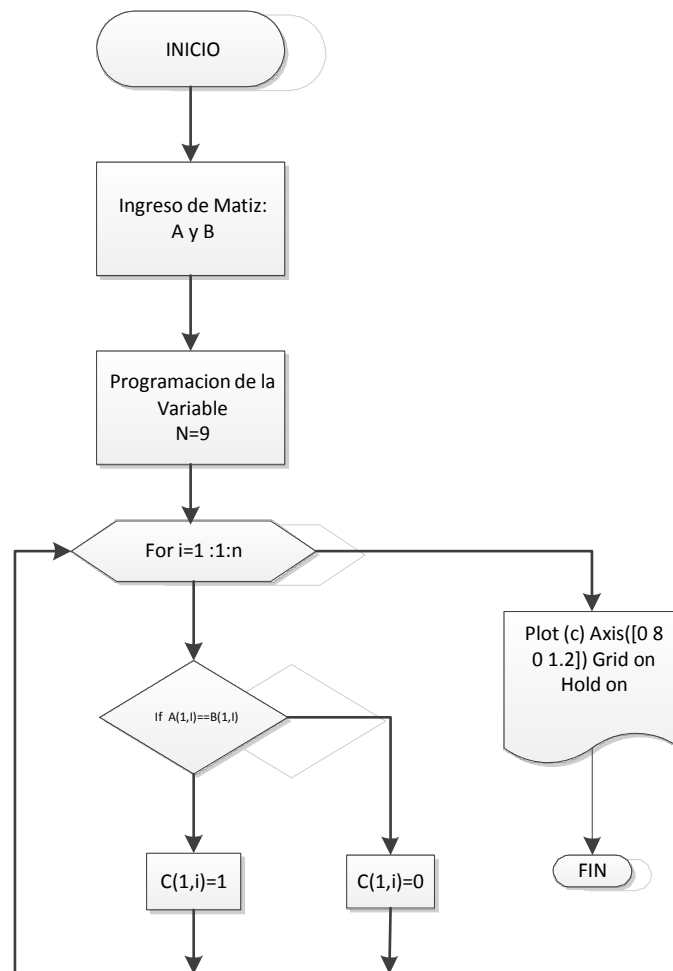
## 3.2 APLICACIÓN DE ALGORITMO RELIEF EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

En la figura 3.2 se muestra el principio de funcionamiento de Relief, de la cual podemos decir que la funcionabilidad del algoritmo es la de comparación de dos matrices siendo

una de ellas la matriz patrón (A) y B la matriz a comparar.

Lo que realiza a continuación es comparar los valores de cada una de las matrices y crear una nueva matriz con valores binarios entre cero y uno donde el uno es el error que tiene la matriz (B), y se van posicionando a un orden pre establecido.

El uno en la matriz nos indica el error en la matriz y nos da la posición en la fila o la columna que se encuentra la misma.



**Fig 3.3:** *Flujograma de Relief*

**Fuente:** Autor

Para nuestro caso utilizaremos el algoritmo de relief sobre una línea de transmisión L3 ubicada en la barra 7 y 8 y también sobre la línea de transmisión sobre la línea L6 ubicada en la barra 4 y 6 que se encuentran en un Sistema Eléctrico de Potencia de nueve barras. Para ello utilizaremos el simulador computacional “DigSilent Power Factory”, en cual ingresaremos el circuito de la figura 2.8 y en el mismo se realizara una falla monofásica. Con dicha simulación obtendremos la base de datos que Relief necesita para poder realizar la comparación entre matrices. Relief realizara una busque en la base de datos

comparando los valores de nuestra matriz base con la de la matriz a comparar, para así encontrar cuál de las líneas de transmisión está en falla y mostrarnos gráficamente la ubicación de la misma.

Mediante la simulación obtendremos las curvas de corriente y voltaje y veremos cómo estas están afectando al sistema.

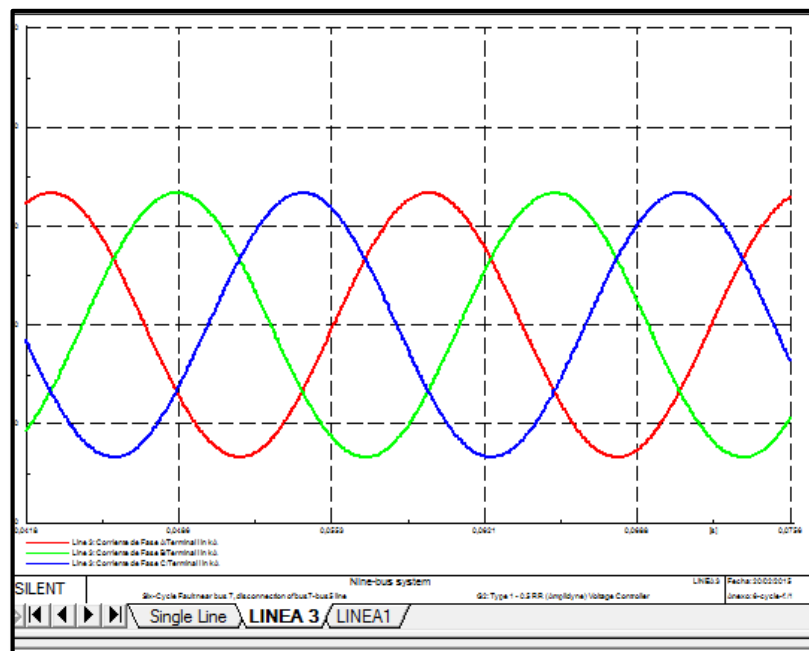
Curvas del SEP de nueve barras en condiciones normales.

En la figura 3.4 se muestra las formas de ondas de las corrientes en la línea 3 en condiciones normales esto quiere decir que nuestro sistema no sufre ningún tipo de falla. Donde:

Línea 3 corriente fase A —

Línea 3 corriente fase B —

Línea 3 corriente fase C —



**Fig 3.4:** Curva de corrientes en la línea 3 de las fases 3 fases

**Fuente:** Autor

Con se puede verificar en la gráfica la corriente se encuentra desfasada entre cada una de las fases  $90^\circ$  y retrasada al voltaje.

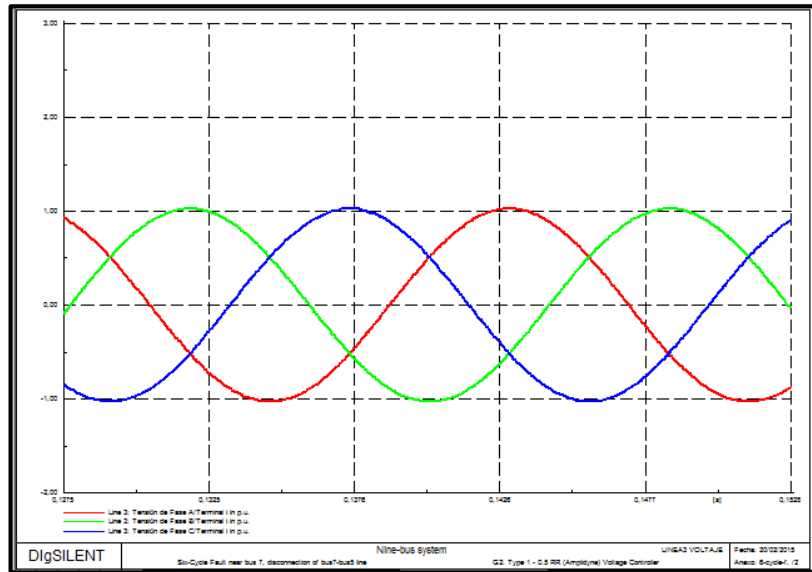
En la figura 3.5 se muestra las formas de ondas del voltaje en la línea 3 en condiciones normales esto quiere decir que nuestro sistema no sufre ningún tipo de falla

Donde:

Línea 3 voltaje fase A —

Línea 3 voltaje fase B —

Línea 3 voltaje fase C —



**Fig 3.5:** Curva de voltaje en la línea 3 de las fases 3 fases

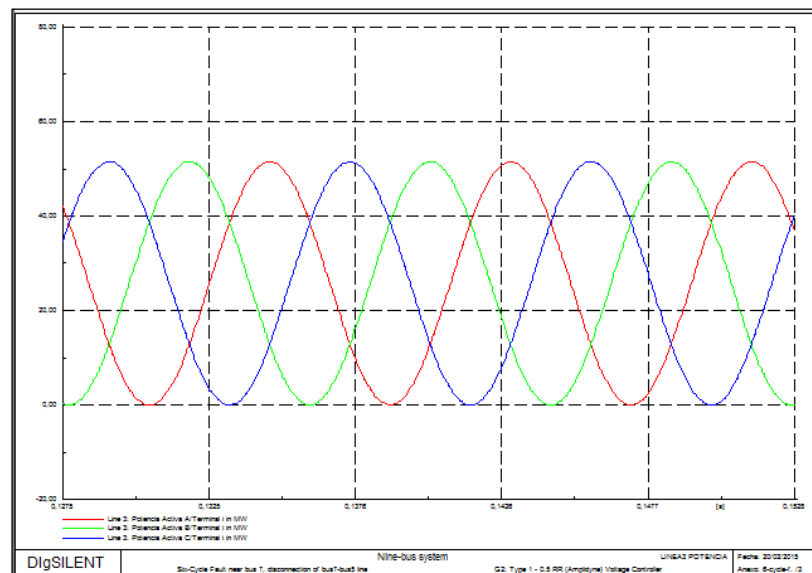
**Fuente:** Autor

En la figura 3.6 se muestra las formas de ondas de potencia activa en la línea 3 en condiciones normales esto quiere decir que nuestro sistema no sufre ningún tipo de falla Donde:

Línea 3 potencia fase A —

Línea 3 potencia fase B —

Línea 3 potencia fase C —



**Fig 3.6:** Curva de potencia en la línea 3 de las fases 3 fases

**Fuente:** Autor

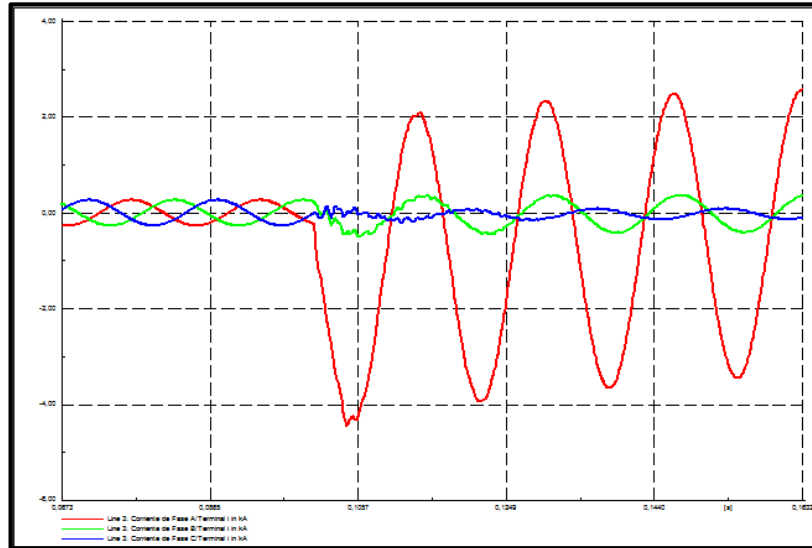
A continuación realizaremos una falla monofásica en la línea 3 del SEP de nueve barras y observaremos como van cambiando las curvas, de corriente, voltaje y potencia activa además obtendremos la curva del tiempo de despeje de falla.

Donde:

Línea 3 corriente fase A —

Línea 3 corriente fase B —

Línea 3 corriente fase C —



**Fig 3.7:** *Curvas de corriente de con falla monofásica en la línea A*

**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la gráfica al simular una falla monofásica en la línea 3 la fase A se incrementa la corriente y afectando a las dos líneas restantes creando en ellas armónicos y picos de corriente.

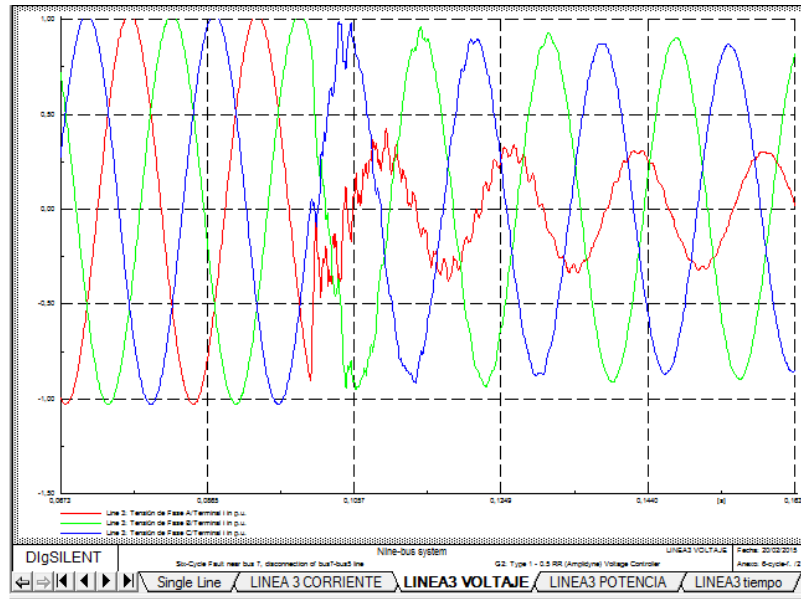
En la figura 3.8 se muestra las formas de ondas del voltaje en la línea 3 en condiciones falla esto quiere decir que nuestro sistema sufrió una falla monofásica y por ende ha sufrido un desbalance en las líneas.

Donde:

Línea 3 voltaje fase A —

Línea 3 voltaje fase B —

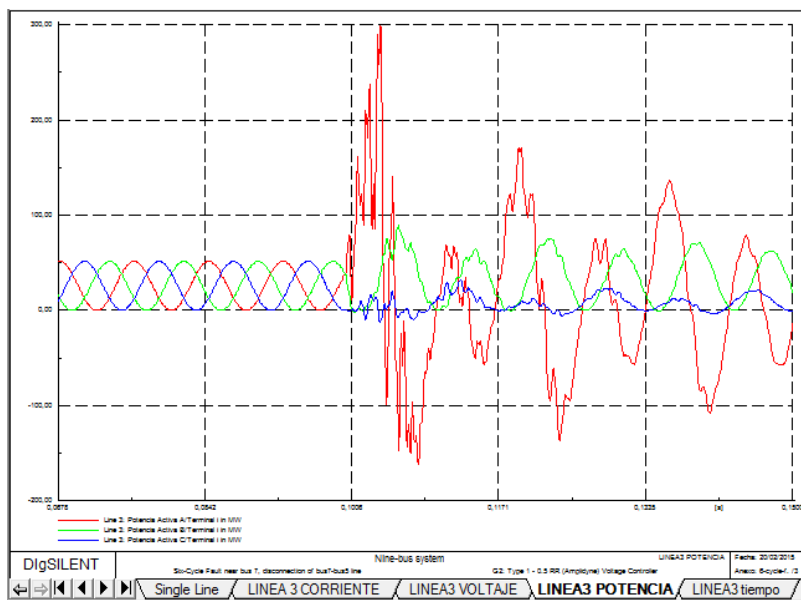
Línea 3 voltaje fase C —



**Fig 3.8:** Curvas de voltaje con falla monofásica en la línea A

**Fuente:** Autor

En la figura 3.9 se muestra las formas de ondas de potencia activa en la línea 3 en condiciones de falla esto quiere decir que nuestro sistema tubo algún evento como podemos observar la potencia se encuentra distorsionada, debido a que la potencia depende directamente de la corriente y por ende esta va cambiando de acuerdo a como se muestre la corriente, además observamos que la potencia en instantes se dispara hasta alcanzar el tripe de su valor inicial.



**Fig 3.9:** Curvas de voltaje con falla monofásica en la línea A

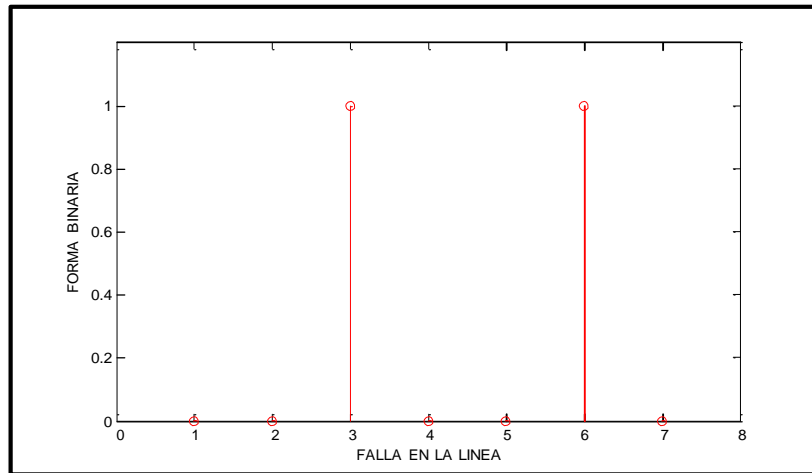
**Fuente:** Autor

Una vez realizado la simulación en “DigSilent Power Factory”, este nos generara una base de datos, ara nuestra primera simulación generaremos dos bases de datos a la cuales



les llamaremos base de datos normal y a la otra la llamaremos base de Datos monofásica.

Dichas bases de datos las llamaremos desde el MatLAB para que en él se ejecute el programa de relief, donde comparara las matrices entre si y nos indique en que línea se encuentra la falla.



*Fig 3.10: Resultado del Algoritmo de Relief*

**Fuente:** Autor

Como podemos observar en la figura 3.10 la programación del algoritmo de Relief en MatLAB nos envía como resultado que la falla monofásica se encuentra en la línea 3 y en la línea 6 del sistema de potencia que concordaría con las fallas que se generaron en la simulación anterior.

Como matriz resultante tenemos.

$$\diamond = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Donde los ceros nos indican que la línea en mención se encuentra sin falla y los unos las líneas que se encuentran en falla, cabe indicar que cada espacio indica la ubicación de la línea por ejemplo.

El primer cero nos indica que la líneas 1 se encuentra en condiciones normales.

El segundo cero indica que la línea 2 se encuentra en condiciones normales.

El tercer espacio tiene un uno estenos indica que existe una falla en la línea 3 y que debe ser revisada.

En el cuarto espacio tenemos un cero esto nos indica que tenemos que la línea 4 se encuentra en condiciones normales.

En el quinto espacio tenemos un cero el cual nos indica que la línea 5 se encuentra en condiciones normales.

En el sexto espacio tenemos un uno el cual nos indica que la línea 6 se encuentra falla

y que debe ser revisada.

En el sexto espacio tenemos un cero el cual nos indica que la línea 7 se encuentra en condiciones normales.

### 3.3 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN

Para determinar la ecuación de relief primero se debe escoger una medida de distancia en el espacio de atributos, pero como dicha distancia depende de la función  $d_{ij}$ , se define previamente. Se toman dos instancias y un atributo genéricos,  $I_1$ ,  $I_2$  y  $A_j$  deben distinguirse dos casos en función de la naturaleza del atributo .

Atributo nominal

$$d_{ij}(\phi_i, \phi_1, \phi_2) = \begin{cases} 0 & \text{si } \phi_i(\phi_1) = \phi_i(\phi_2) \\ 1 & \text{si } \phi_i(\phi_1) \neq \phi_i(\phi_2) \end{cases} \quad (3.1)$$

Atributo numérico

$$d_{ij}(\phi_i, \phi_1, \phi_2) = \frac{|\phi_i(\phi_1) - \phi_i(\phi_2)|}{\max_{\phi_i \in \{1, \dots, m\}} \{\alpha_{\phi_i}\} - \min_{\phi_i \in \{1, \dots, m\}} \{\alpha_{\phi_i}\}} \quad (3.2)$$

De tal manera que en el denominador de los atributos numéricos se calcula la diferencia entre los valores máximos y mínimos que toma el atributo.

Donde:

$m$ : indica el número de valores distintos ( $\alpha_{\phi_i}$ ) que toma el atributo  $A_j$  en la muestra. Finalmente se definirá la distancia entre dos instancias,  $d_{ij}(\phi_1, \phi_2)$  que permite hallar vecinos más cercanos en el espacio a-dimensional de atributos, para ellos se toma como distancia en una sola dimensión (que corresponde a un atributo) el valor de la función  $d_{ij}$ .

$$d_{ij}(\phi_1, \phi_2) = \sum_{j=1}^m d_{ij}(\phi_i, \phi_1, \phi_2) \quad (3.3)$$

### 3.4 MODELAMIENTO EN MATLAB

Para poder realizar el modelamiento primero se dará una breve explicación sobre el

programa realizado en Matlab y como es su funcionamiento.

Como ya se explicó anteriormente el funcionamiento del algoritmo de Relief en este

punto se explicara cómo se realizó el programa, su funcionamiento y que es lo que se espera obtener del mismo.

Para poder realizar el programa primero debemos generar una base de datos dicha base de datos debe ser extraída del “DigSilent Power Factory”.

Una vez obtenida la base de datos, esta base la exportaremos a MatLAB en donde diremos cuál es la matriz patrón y con cuales debe ser comparadas las matrices a comparar. Como primer punto lo realizaremos un condicionante el cual determinara el tipo de falla al que queremos realizar como por ejemplo una falla monofásica, bifásica, bifásica a tierra y trifásica cada una de ellas está determinada por una letra de la siguiente manera.

M = Falla Monofásica

B = Falla Bifásica

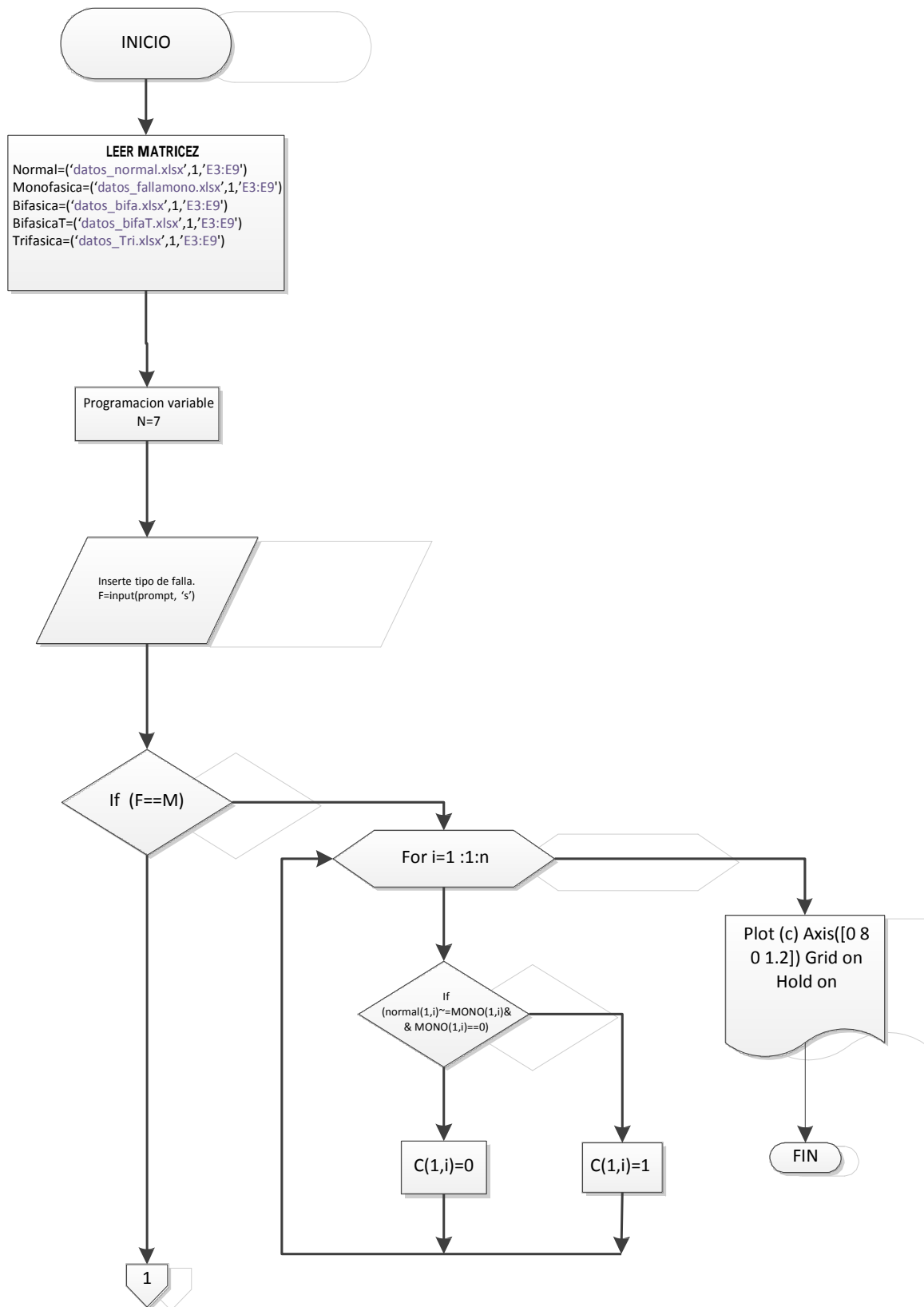
BT = Falla Bifásica a Tierra

T = Falla Trifásica

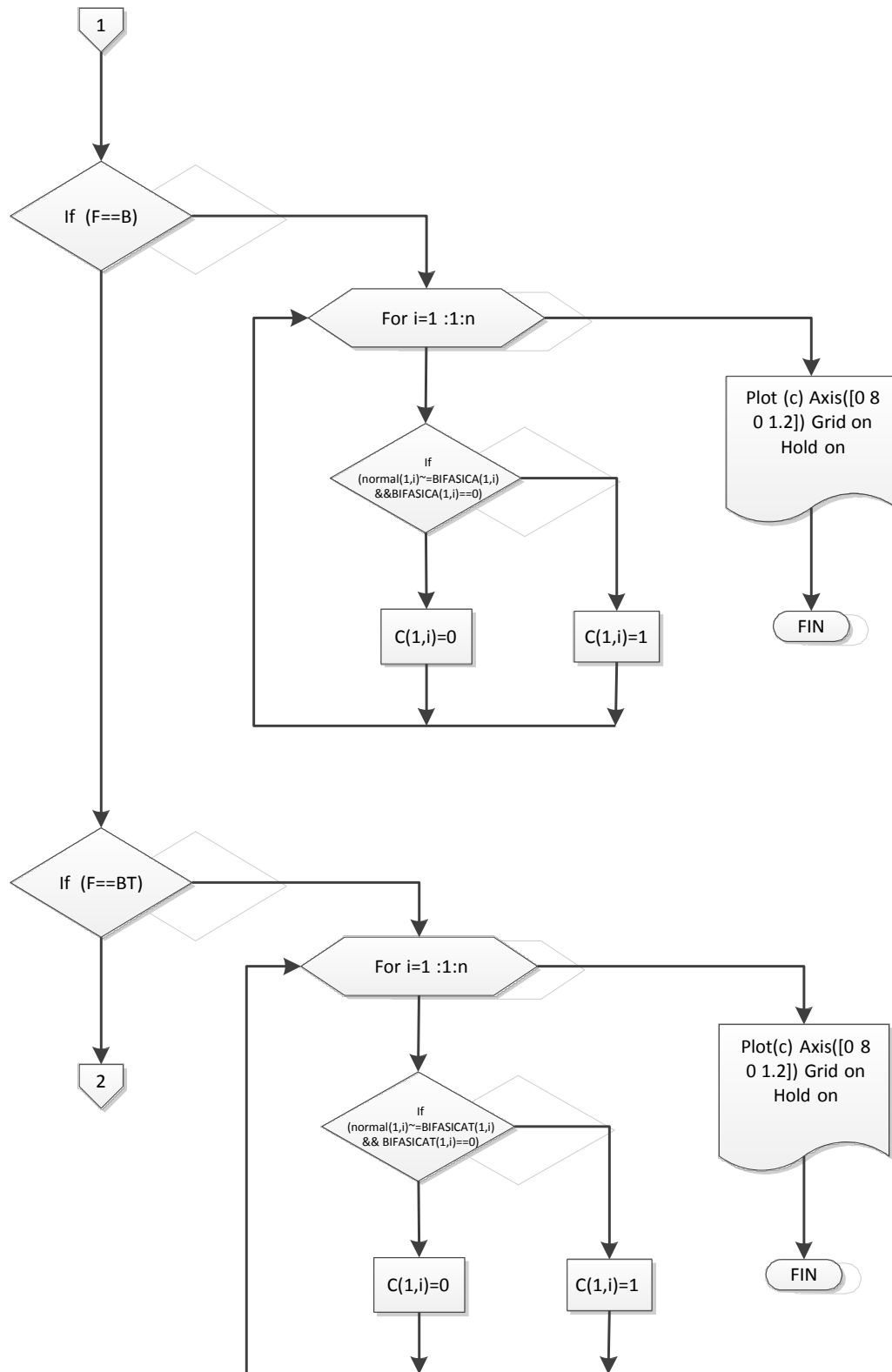
Con esto lo que realizamos es ingresar cual base de datos vamos a comparar con la matriz patrón dentro de cada una de las falla tendremos que general una matriz binaria C que será nuestra matriz resultante, luego de general la matriz C, lo que realizaremos es un laso condicionante en el cual realizaremos la comparación entre la matriz patrón y la matriz que será llamada además de esto realizaremos una búsqueda de ceros en la matriz de comparación. En caso de que exista un cero en la matriz a comparar esta la remplazara por un 1 lógico en la matriz resultante caso contrario será remplazado por un cero lógico.

Dicho valor de uno lógico será mostrado en el eje x siendo este el eje en el cual se encuentran las líneas, la posición que nos marque es aquella en que la línea se encuentra en falla o es la línea que esta con problemas.

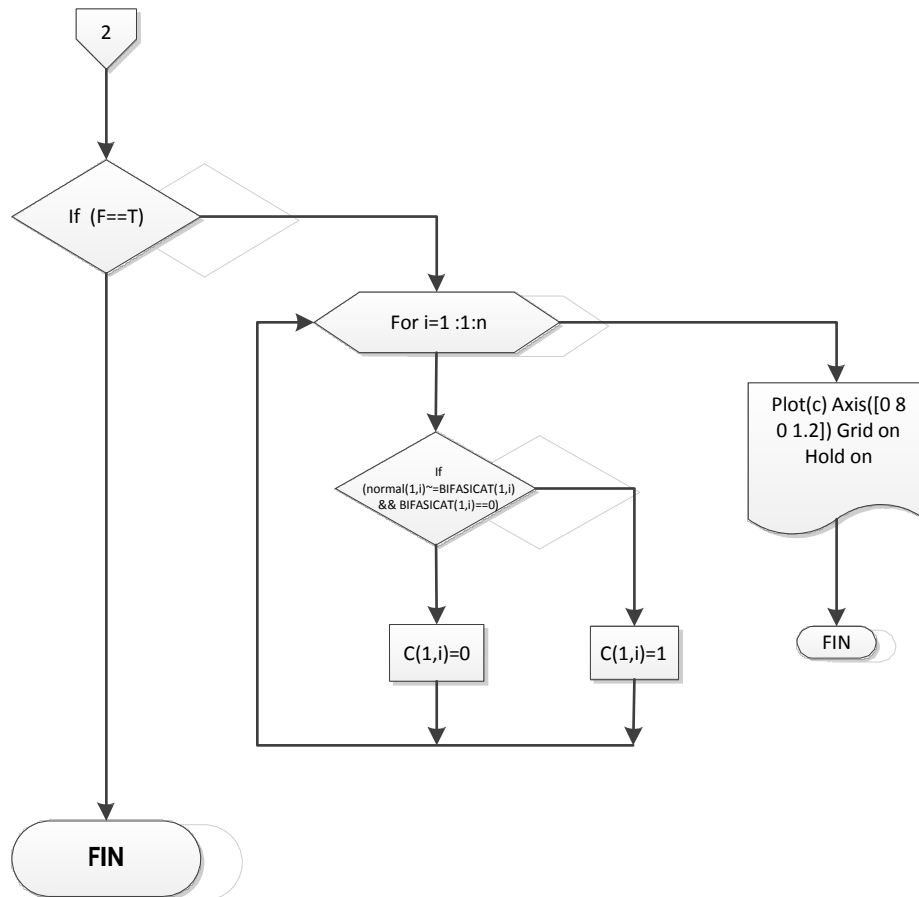
En las figuras 3.11 y 3.12 se muestran el proceso de la programación mediante un flujograma, en el cual se expresa el algoritmo de relief y las condicionantes para la comparación de las matrices



**Fig 3.11:** Programación del algoritmo de Relief para líneas de transmisión con diferente tipo de Fallas  
Fuente: Autor



**Fig 3.12:** Programación del algoritmo de Relief para líneas de transmisión con diferente tipo de Fallas  
**Fuente:** Autor



**Fig 3.13:** Programación del algoritmo de Relief para líneas de transmisión con diferente tipo de Fallas  
**Fuente:** Autor

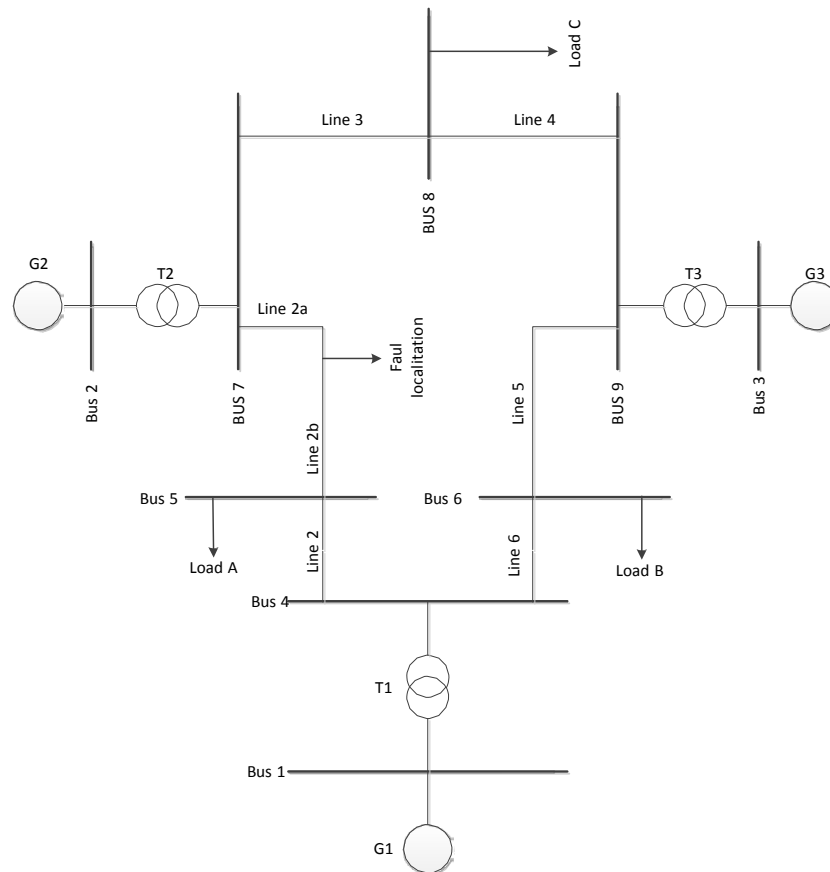
Para realizar nuestras respectivas fallas utilizaremos

### 3.4.1 Modelación de Relief en una Falla Monofásica

Para realizar nuestra comparación como primer punto debemos realizaremos un falla monofásica en un SEP, para ello utilizaremos el circuito de 9 barras.

En el cual realizaremos una falla monofásica en la línea 3 y en la línea 6 en el cual obtendremos

Datos de corriente, voltaje y potencia y veremos cómo reacciona el mismo, lo que esperamos con la modelación de Relief es que nos determine la falla en los diferentes puntos por ende dicha modelación nos debe indicar en que línea se encuentra la falla.



**Fig 3.14: Sistema IEEE de 9 Barras**  
**Fuente:** “DigSilent Power Factory”.

Del circuito de la figura 3.14 obtendremos las curvas de voltaje, potencia y corriente para ver cómo se encuentran las curvas de la línea en mención.

Con se puede verificar en la gráfica la corriente se encuentra desfasada entre cada una de las fases  $90^\circ$  y retrasada al voltaje.

En la figura 3.15 B se muestra las formas de ondas del voltaje en la línea 3 en condiciones normales esto quiere decir que nuestro sistema no sufre ningún tipo de falla

En la figura 3.15 C se muestra las formas de ondas de potencia activa en la línea 3 en condiciones normales esto quiere decir que nuestro sistema no sufre ningún tipo de falla

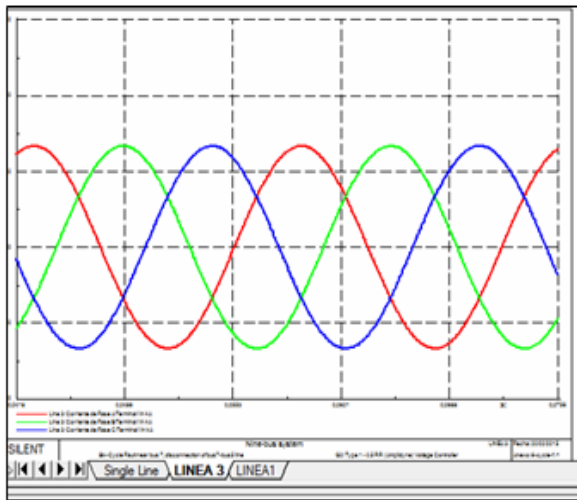
Una vez obtenidas las curvas de corriente, voltaje y potencia procederemos a simular nuestro sistema con una falla monofásica en el cual el tiempo de fallas es de 1 segundo y veremos qué es lo que sucede con las formas de onda en dicha falla.



Línea 3 fase A —

Línea 3 fase B —

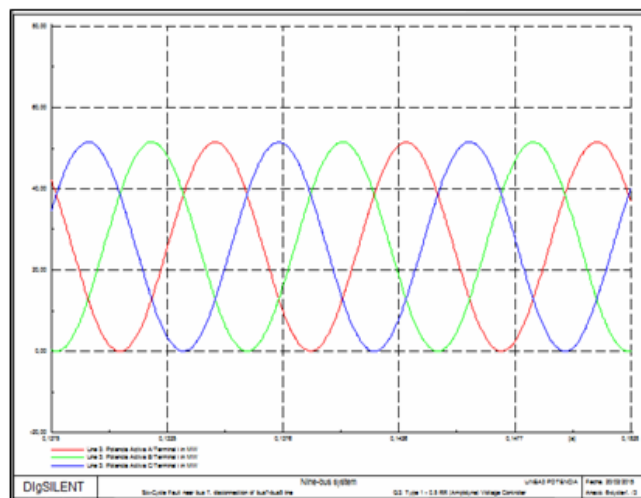
Línea 3 fase C —



**A:** Curva de corrientes en la línea 3 de las fases 3 fases



**B :** Curva de voltaje en la línea 3 de las fases 3 fases



**C:** Curva de potencia en la línea 3 de las fases 3 fases

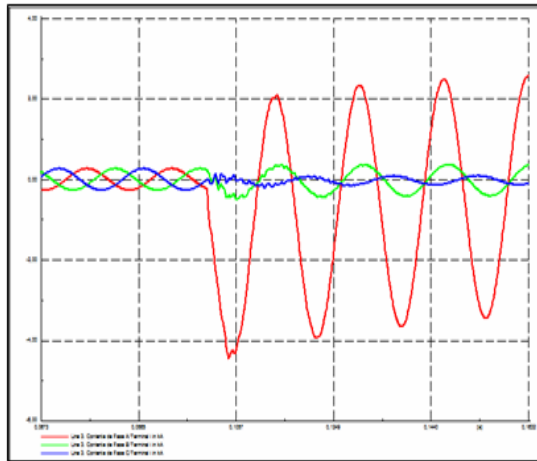
**Fig 3.15: Curvas de estado normal en la line 3**  
**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la gráfica al simular una falla monofásica en la línea 3 la fase A se incrementa la corriente y afectando a las dos líneas restantes creando en ellas armónicos y picos de corriente. Ver figura 3.16 A

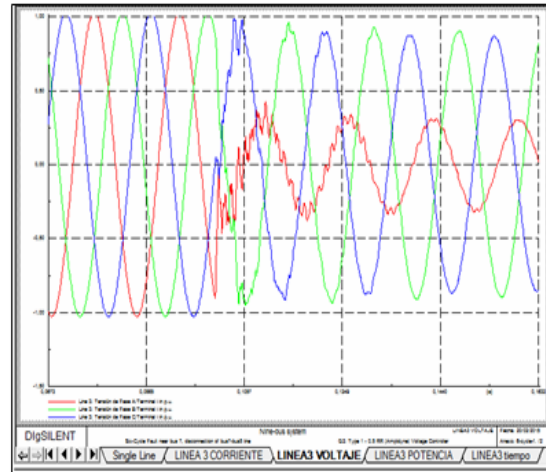
Línea 3 fase A —

Línea 3 fase B —

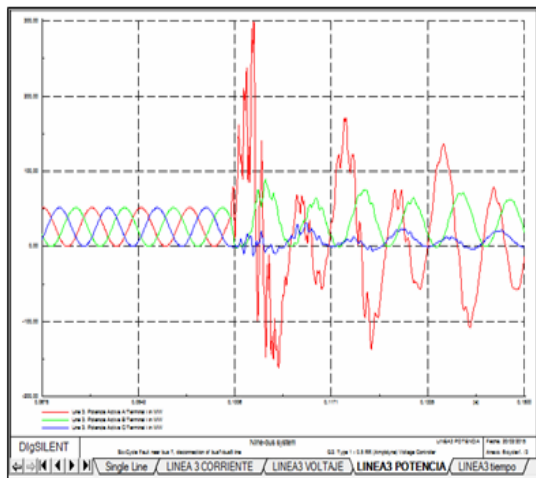
Línea 3 fase C —



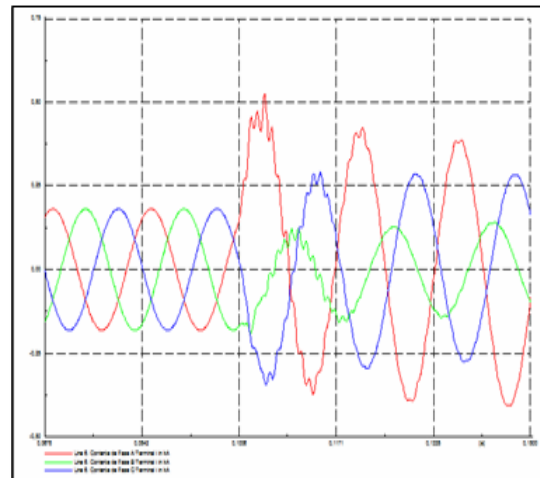
A: Curvas de corriente de con falla monofásica en la línea A



B : Curvas de voltaje con falla monofásica en la línea A



C : Curvas de potencia con falla monofásica en la línea A



D : Curvas de corriente en el SEP con flia monofásica en L3

**Fig 3.16:** Curvas con falla monofásica en la línea 3  
Fuente: Autor

En la figura 3.16 B se muestra las formas de ondas del voltaje en la línea 3 en el cual podemos observar que el sistema presenta una anomalía en la fase A, dicha anomalía está provocando un desbalance en el sistema y por ende afecto a todo el sistema como se puede

interpretar la fase aledaña más afectada es la C.

En la figura 3.16 C se muestra las formas de ondas de potencia activa en la línea 3 en condiciones de falla monofásica.

Además se obtuvo una forma de onda de corriente como la falla afecta al resto del SEP en donde todas las líneas se encuentran afectadas.

Como podemos observar en una falla monofásica afecta a todo el sistema, como se puede ver en las figuras anteriores la falla monofásica ocasiona un flujo de corriente en el orden de 75 % de la corriente de falla fase-fase. Cuando ocurre la falla monofásica el conductor de puesta a tierra tiene una función muy importante ya que proporciona una trayectoria de baja impedancia para que la corriente de falla ocasione la operación de los dispositivos de protección limitando con esto el tiempo de permanencia de falla.

Con nuestra modelación lo que se va realizar utilizando el Algoritmo de Relief es identificar en donde está la falla que líneas se encuentran afectadas para poder dar una rápida respuesta.

Con el algoritmo de Relief obtendremos una matriz binaria en donde nos dirá que línea se encuentra en falla dicha matriz se muestra a continuación.

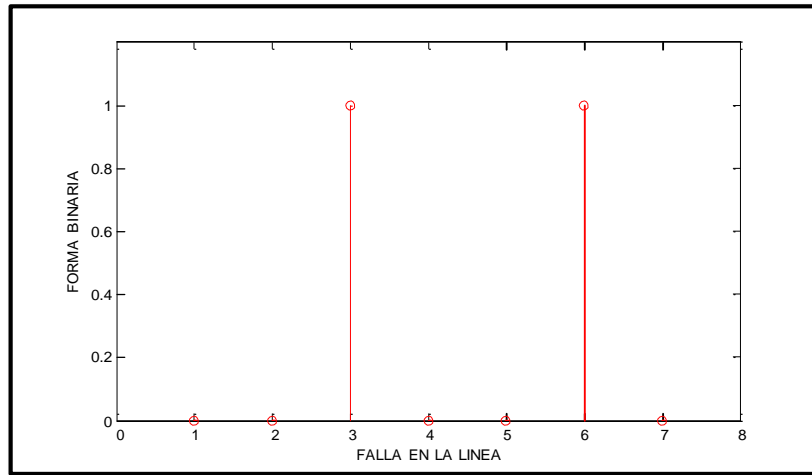
Lo que realiza nuestra programación es generar una matriz C de ceros e ir comparando uno a uno los valores de la matriz patrón con los valores de matriz ingresada de acuerdo a la falla.

A continuación iremos viendo cómo se va generando nuestra matriz.

$$\diamond = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Como podemos observar primero se crea una matriz inicial de ceros y al mismo tiempo compara el primer valor como este no tiene ningún cambio o mejor no presenta ninguna anomalía la matriz no cambia y se queda con ceros, luego esta sigue comparando y pasa al segundo ítem compara y como no existe ningún cambio esta se mantiene igual en nuestro tercer punto observamos cómo nuestra matriz ha cambiado su valor de 0 a 1 esto nos indica que hubo una anomalía con los valores ingresados a comparar por ende ha cambiado su valor, de esta manera nos indica que existe una falla en la línea 3, luego sigue comparando el cuarto ítem de la matriz y cómo no encuentra anomalía no cambia su valor de cero. De esta manera lo realiza hasta terminar con todos los elementos de la matriz. Y si encuentra otra anomalía lo representara con un 1 lógico.

En la figura 3.21 se muestra nuestro resultado del algoritmo



**Fig 3.17:** Resultado del Algoritmo de Relief  
**Fuente:** Autor

Como podemos observar las líneas que se encuentran marcadas con rojo son las líneas que presentan fallas es decir que para nuestro ejemplo, las fallas se encuentran ubicadas en la línea 3 y en la línea 6. Ya que nuestro eje X representa el número de líneas que tiene nuestro sistema.

### 3.4.2 Modelación de Relief en una Falla Bifásica

Ahora probaremos nuestro programa con una falla bifásica debería detectarnos en que línea de transmisión se encuentra.

De igual manera que en el caso anterior simularemos el circuito de nueve barras y obtendremos las curvas de corriente, voltaje y potencia del sistema.

Para este caso lo realizaremos en la barra cuatro y para su verificación haremos correr nuestro programa y nos debe indicar la barra cuatro la que tiene la falla

En la figura 3.18 A se muestra las formas de ondas del corriente en la línea 4 en el cual podemos observar que el sistema presenta una anomalía en la fase A y B, dicha anomalía está provocando un desbalance en el sistema y por ende afecto a todo el sistema

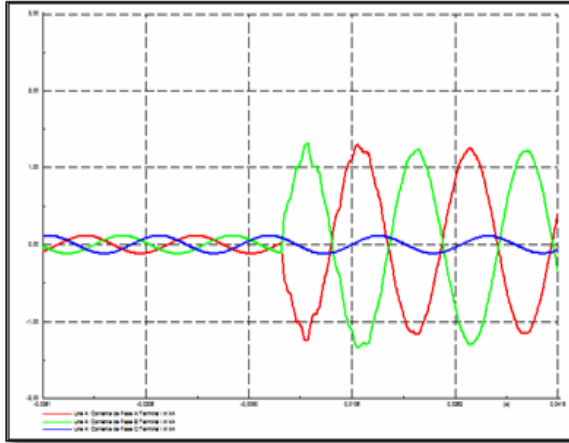
En la figura 3.18 B se muestra las formas de ondas de voltaje en la línea 4 en condiciones de falla bifásica.

En la figura 3.18 C se muestra las formas de ondas de potencia en la línea 4 en condiciones de falla bifásica.

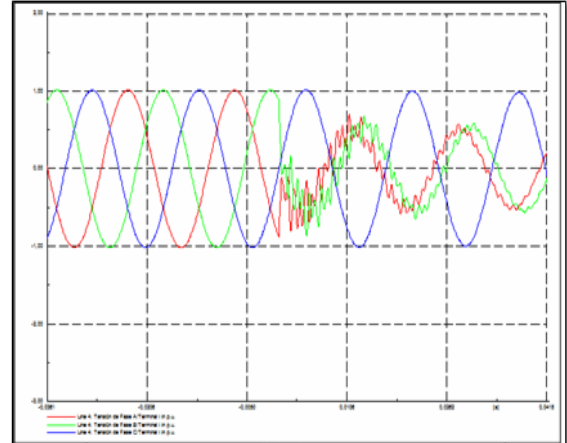
Línea 4 fase A —

Línea 4 fase B —

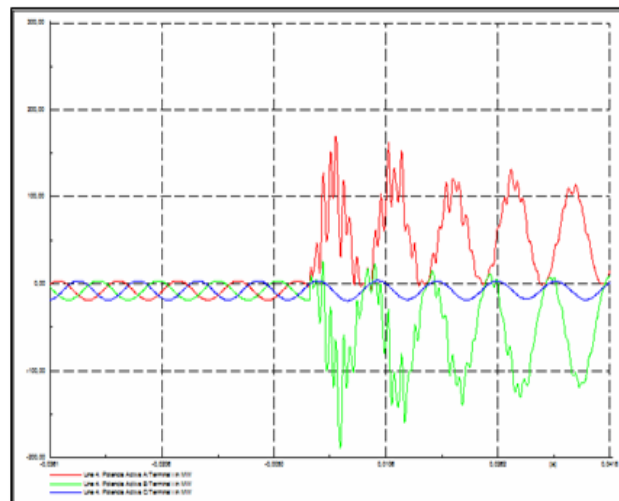
Línea 4 fase C —



**A:** Curvas de corriente con falla Bifásica en la línea 4



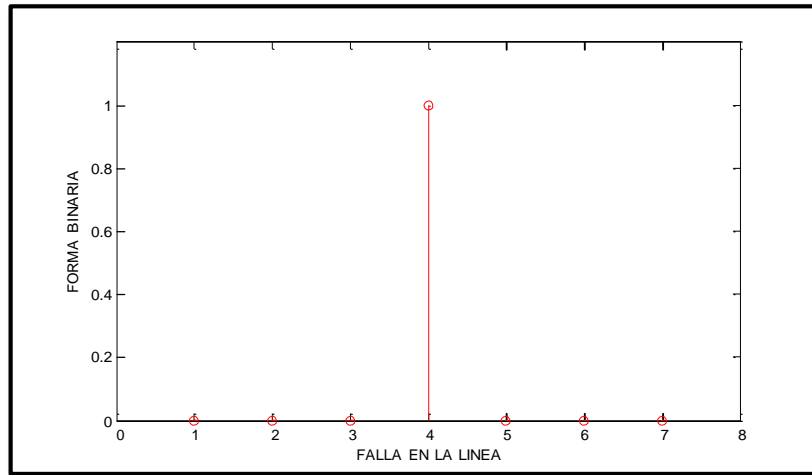
**B:** Curvas de voltaje con falla bifásica en la línea 4



**C:** Curvas de potencia con falla bifásica en L4

**Fig 3.18:** Curvas con falla bifásica en la línea L4  
**Fuente:** Autor

Como mencionamos anteriormente en esta modelación nuestro programa debe darnos la ubicación de donde se encuentra la falla.



**Fig 3.19:** Resultado del Algoritmo de relieve para falla bifásica en L4  
**Fuente:** Autor

En la gráfica del algoritmo podemos observar como por medio del mismo hemos obtenido la respuesta que estábamos esperando que el daño se encuentra en la línea L4.

### 3.4.3 Modelación de Relief en una Falla Bifásica a Tierra

En la figura 3.20 A se muestra las formas de ondas del corriente en la línea 1 en el cual podemos observar que el sistema presenta una anomalía en la fase A y B, dicha anomalía está provocando un desbalance en el sistema y por ende afecto a todo el sistema

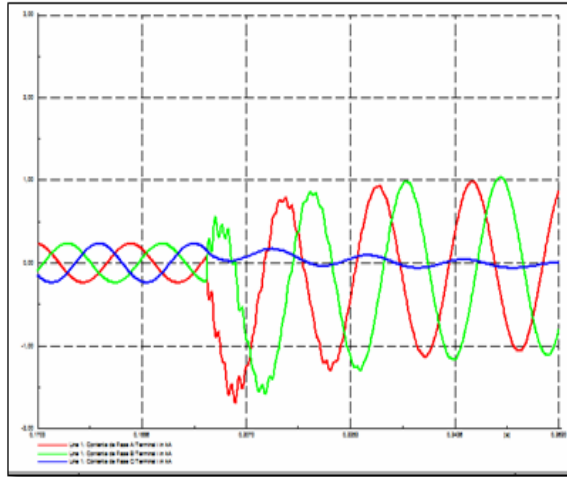
En la figura 3.20 B se muestra las formas de ondas de voltaje en la línea 1 en condiciones de falla bifásica.

En la figura 3.20 C se muestra las formas de ondas de potencia en la línea 1 en condiciones de falla bifásica.

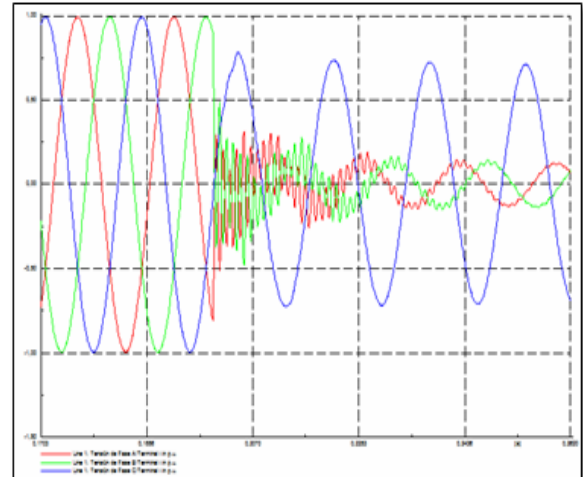
Línea 1 fase A —

Línea 1 fase B —

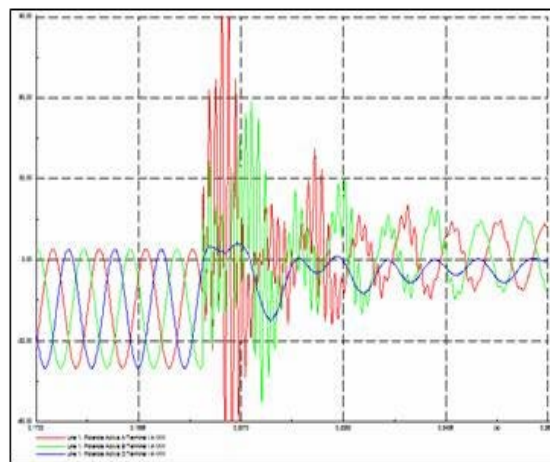
Línea 1 fase C —



**A:** Curvas de corriente con falla Bifásica a tierra en la línea 1



**B:** Curvas de voltaje con falla bifásica a tierra en la línea 1

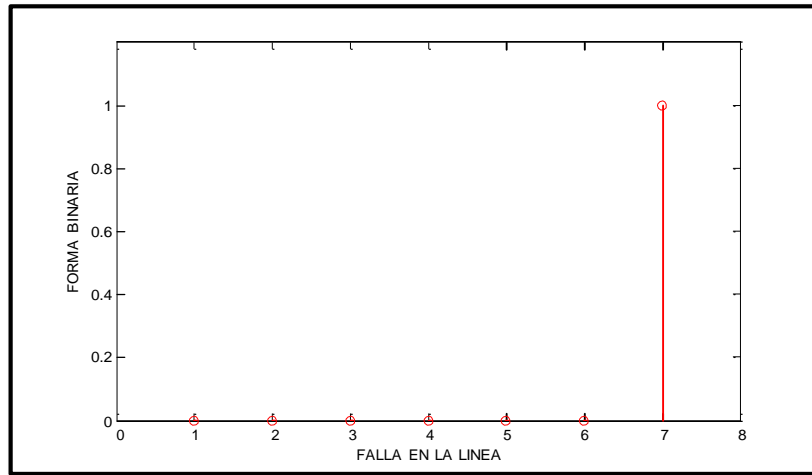


**C:** Curvas de potencia con falla bifásica a tierra en L1

**Fig 3.20:** Curvas con falla bifásica a tierra en la línea L1

**Fuente:** Autor

Como mencionamos anteriormente en esta modelación nuestro programa debe darnos la ubicación de donde se encuentra la falla.



**Fig 3.21:** Resultado del Algoritmo de relieve para falla bifásica a tierra en L1  
**Fuente:** Autor

En la gráfica del algoritmo podemos observar como por medio del mismo hemos obtenido la respuesta que estábamos esperando que el daño se encuentra en la línea L1.

#### 3.4.4 Modelación de Relief en una Falla Trifásica

En la figura 3.22 A se muestra las formas de ondas del corriente en la línea 6 en el cual podemos observar que el sistema presenta una anomalía en la fase A, B y C

En la figura 3.22 B se muestra las formas de ondas de voltaje en la línea 6 en condiciones de falla trifásica.

En la figura 3.23 C se muestra las formas de ondas de potencia en la línea 6 en condiciones de falla Trifásica.

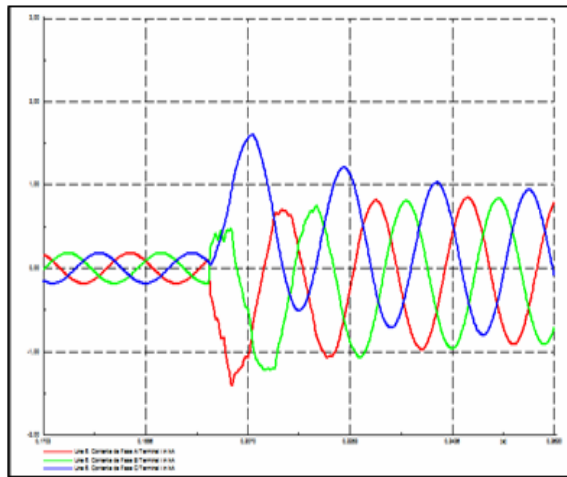
Como podemos observar las curvas de voltaje, corriente y potencia la falla trifásica es una de las más graves y más fuertes que tiene el sistema ya que su corriente es demasiada elevada pero esta falla no es de alta incidencia como el de las fallas monofásicas, este tipo de fallas tienen un 5% de incidencia en el sistema de potencia



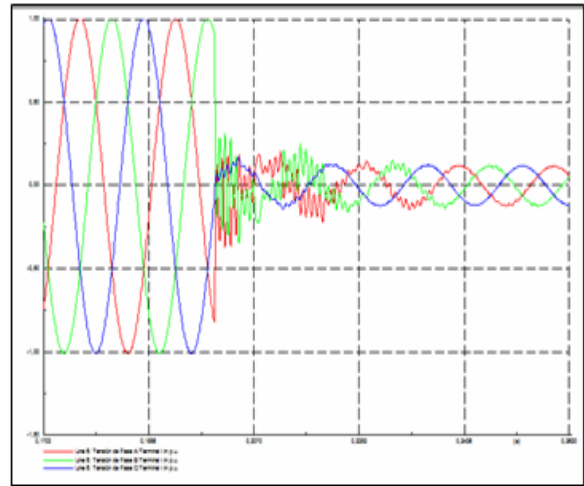
Línea 6 fase A —

Línea 6 fase B —

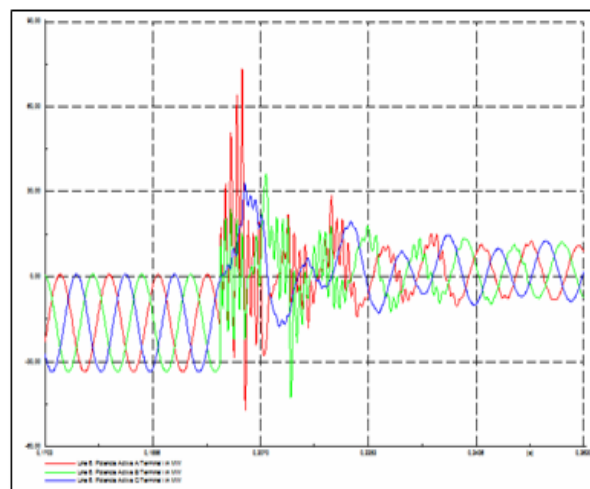
Línea 6 fase C —



**A :** Curvas de corriente con falla Trifásica en la línea 6



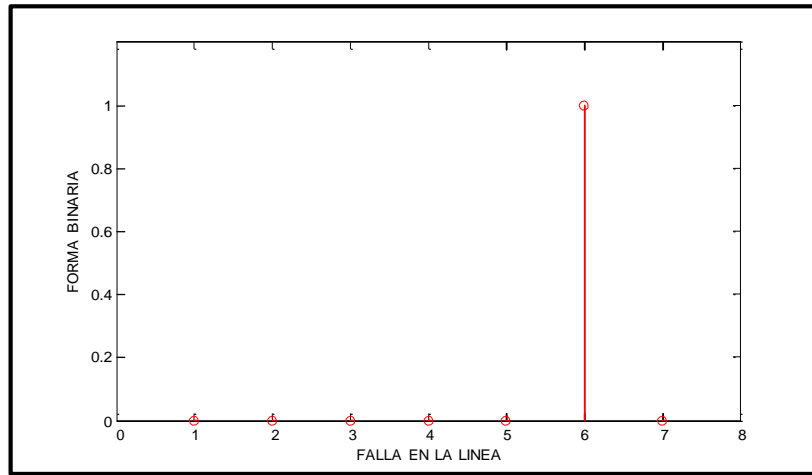
**B :** Curvas de voltaje con falla trifásica en la línea 6



**C:** Curvas de potencia con falla trifásica L6

**Fig 3.22:** Curvas con falla trifásica en la línea L6  
**Fuente:** Autor

Como mencionamos anteriormente en esta modelación nuestro programa debe darnos la ubicación de donde se encuentra la falla.



**Fig 3.23:** Resultado del Algoritmo de relieve para falla trifásica a tierra en L6  
**Fuente:** Autor

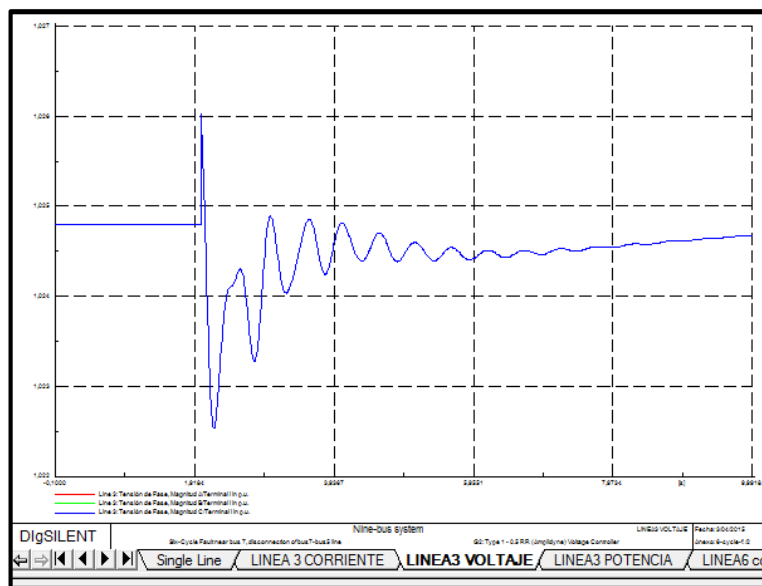
En la gráfica del algoritmo podemos observar como por medio del mismo hemos obtenido la respuesta que estábamos esperando que el daño se encuentra en la línea L6 dicha observación la podemos visualizar en la figura 3.23.

## 4.1 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

- Falla monofásica
- Falla Bifásica
- Falla Bifásica a Tierra
- Falla Trifásica
- Falla de Fase Abierta.

Para ello utilizará los valores obtenidos del programa computacional “DigSilent Power Factory”.

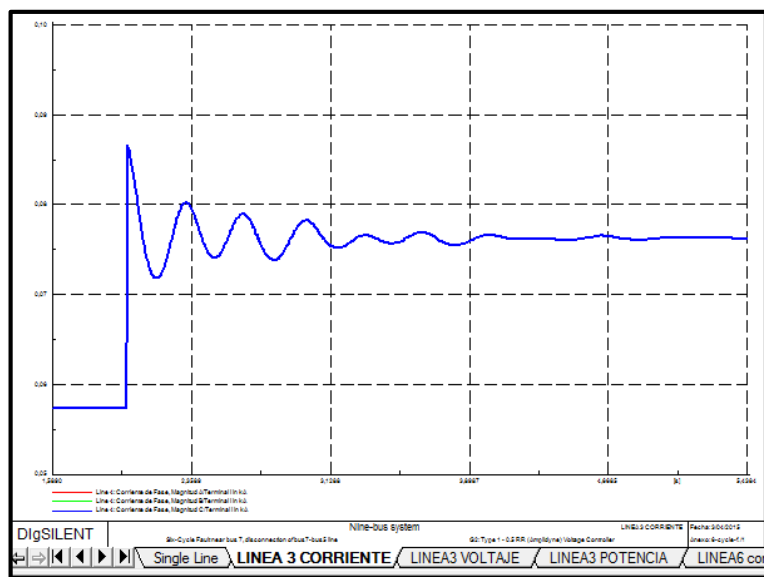
Como primer punto obtendrá la a grafica de voltaje de la falla



**Fuente:** Autor

En la figura 4.1 se observa que al empezar la figura tienen todas las fases igual nivel de voltaje y se encuentran desfasadas 90 grados entre cada una de las fases, como sabemos en un sistema trifásico todas las fases llevan el mismo nivel de voltaje por ende la suma de los tendría que ser igual a cero. Como se puede observar en la figura antes mencionada hubo una falla de fase abierta en la Línea 3 en la fase C, dicha falla provoca una forma de onda oscilante hasta que su valor se estabilice en cero.

Ya que en este tipo de fallas lo que sucede es que las dos líneas que aun quedaron activas traten de compensar a la carga y esta se mantenga activa, dicho suceso o que hace es poner en riesgo la carga ya que esta es muy dependiente de las tres fases.



**Fig 4.2:** *Curvas de Corriente con falla de fase abierta línea 3*

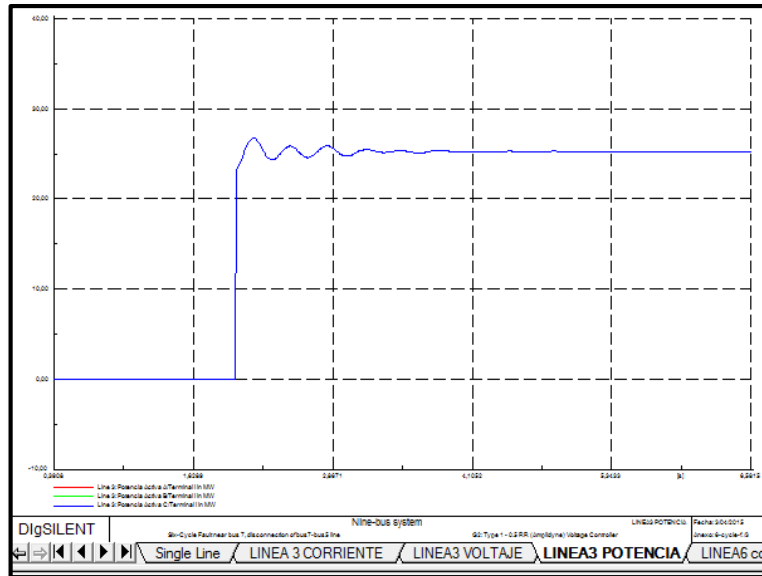
**Fuente:** Autor

Los efectos de las corrientes de cortocircuitos son muy variados, pero los más importantes son el debido al efecto Joule (calentamiento de los equipos eléctricos debido a una gran circulación de corriente), esfuerzos electromecánicos en las maquinas eléctricas y destrucción física del lugar de la falla cuando se producen grandes arcos eléctricos.

De los efectos de las fallas más notorio es el de la interrupción del suministro eléctrico por parte de los dispositivos de protección para despejar la falla y evitar mayores daños al sistema.

En la figura 4.2 se observa el proceso que ocurre en el sistema de potencia al producirse una falla causada por una falla de fase es esencialmente de carácter transitorio, la corriente en régimen normales una onda sinusoidal a 60 Hz de frecuencia y de una amplitud constante, no así cuando sucede el corto circuito, la forma de onda en este caso sigue

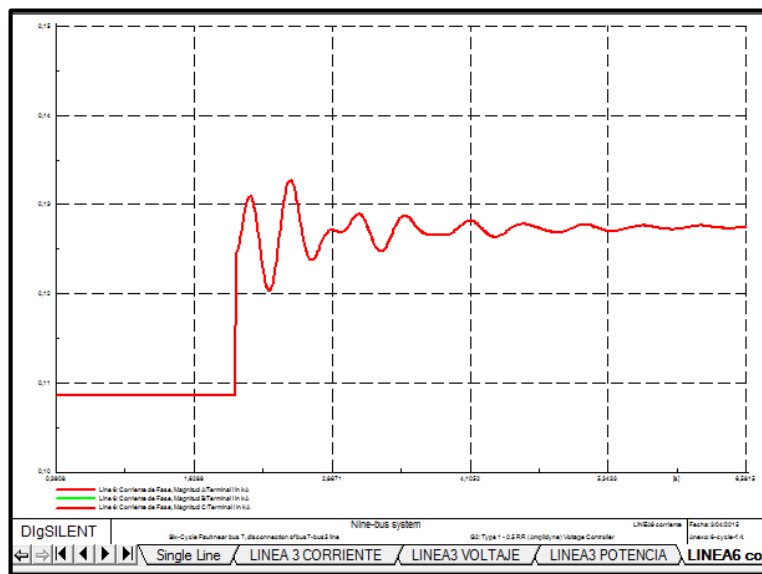
teniendo una forma sinusoidal pero la envolvente va decreciendo exponencialmente desde un valor inicial máximo hasta su valor en régimen estacionario.



**Fig 4.3:** Curvas de Potencia con falla de fase abierta en la línea 3

**Fuente:** Autor

Como se observa en la figura 4.3 la curva de potencia al inicio se encuentra estable pero al momento que sufre una perturbación o falla esta por un instante pequeño eleva su valor a valores muy altos, debido a que se encuentra relacionada directamente con el voltaje y corriente, debe tenerse en cuenta que estos valores son instantáneos o hasta lo que dure la perturbación o salga del sistema la línea afectada, claro está que provoca una distorsión tal que afecta a todo el sistema.



**Fig 4.4:** Curvas de Corriente en la línea 6

**Fuente:** Autor

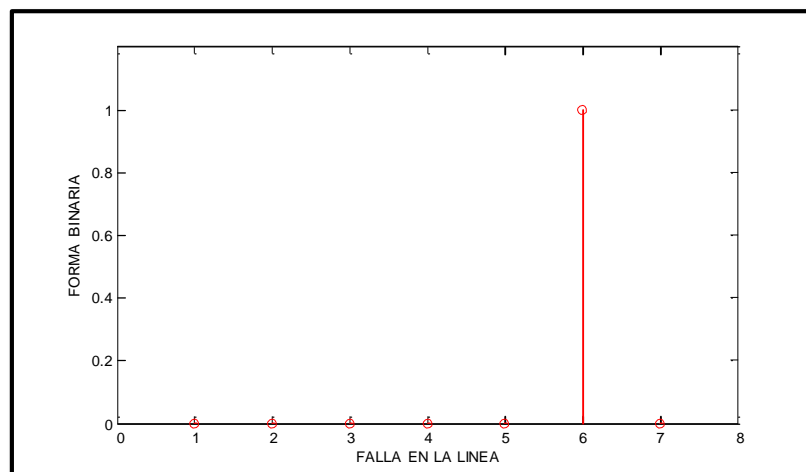
Durante una falla de fase abierta en un SEP las tensiones en las barras no falladas disminuyen. La magnitud de la caída de tensión en las barras es una indicación de la capacidad del SEP para reaccionar. Frente a una falla de fase abierta lo que el sistema realiza es tratar de compensar la falta de potencia a la carga suministrando más corriente por las fases A y B a la carga, esto resulta muy peligroso tanto en la resistencia de los cables como en la carga debido a su incremento de corriente, además este tipo de fallas produce un desbalance en el sistema.

## 4.2 GRAFICAS DE SIMULACIÓN

En el presente se observa la nuestra graficas obtenidas del MatLAB cuyos resultados deberían ser mostrados en una gráfica en los ejes X y Y.

Donde el eje X representara el número de líneas de transmisión que existen en el sistema

Esencialmente la respuesta debería ser dada en forma de matriz, pero para un mejor apreciación la visualizara en forma de barra, la cual indicara donde se encuentra la falla.



**Fig 4.5:** Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla trifásica

**Fuente:** Autor

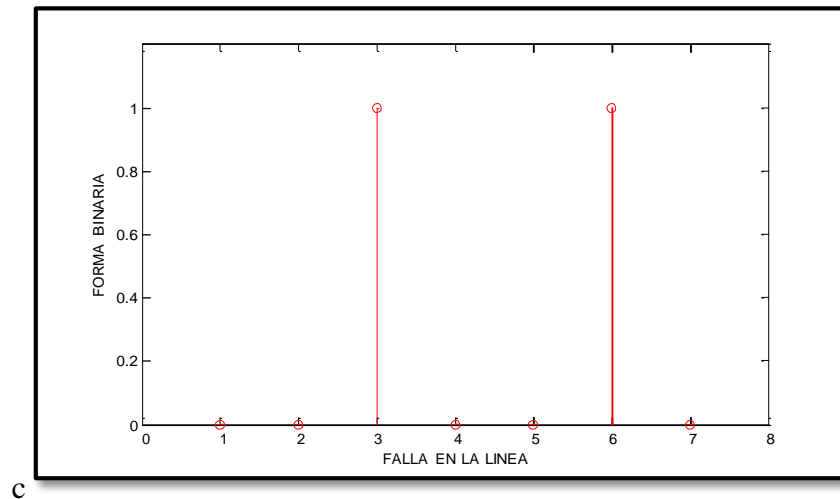
En la figura 4.5 se muestra el resultado de la modelación la cual nos indica que en la línea L6 existe una falla la cual debe ser atendida de inmediato para que no produzca daño al sistema.

Con la modelación lo que logramos es determinar el lugar de la falla no su distancia sino su ubicación en el SEP.

Eventual mente se probó la modelación con distintos tipos de fallas dando como

resultado que en si el programa lograba identificar la falla en diferentes puntos del sistema.

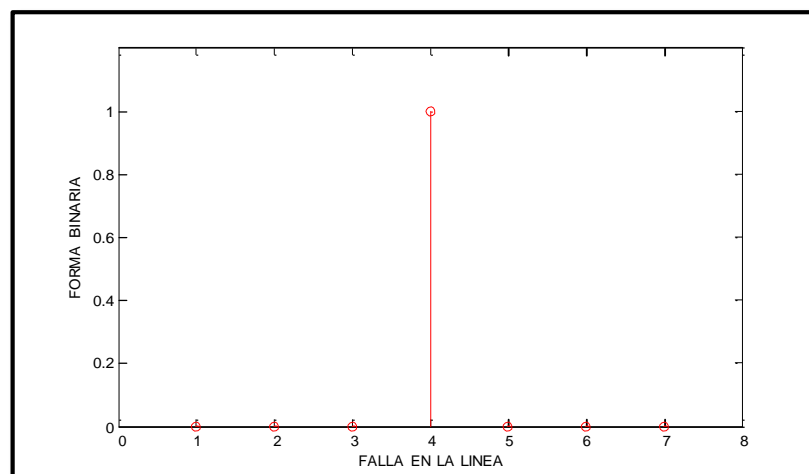
E aquí algunas graficas de las simulaciones antes realizadas en falla monofásica, bifásica, bifásica a tierra en diferentes puntos de un SEP de nueve barras.



**Fig 4.6:** Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla monofásica en dos puntos.

**Fuente:** Autor

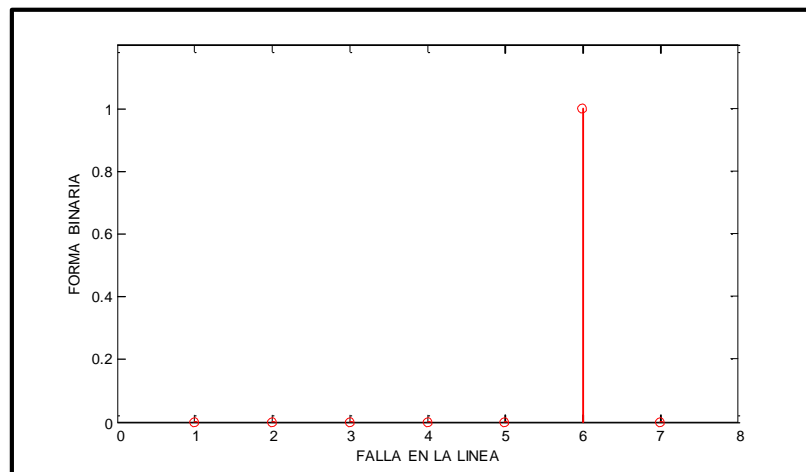
En este punto de la modelación se realizó en un mismo SEP dos tipos de fallas para el caso eran dos fallas monofásicas que fueron realizadas en diferentes líneas en la línea L3 y en la línea L6 para saber cómo iba a reaccionar el programa. De manera exitosa la modelación respondió como esperábamos. Como se puede ver en la figura 4.6 nos indica en el eje X que existen dos fallas que se encuentran en L3 la una y en L6 la segunda.



**Fig 4.7:** Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla Bifásica.

**Fuente:** Autor

En la figura 4.7 se muestra el resultado de una falla bifásica que se encuentra en la línea L4, como ya explicamos anteriormente la modelación lo que realiza es comparar los valores de una matriz patrón en dicha matriz lo que se encuentra son los valores de voltaje, corriente y potencia del sistema en condiciones óptimas de trabajo, esta matriz es comparada con otra matriz que contiene voltaje, corriente y potencia del sistema pero con la diferencia que está en sus valores tiene un valor que determina la falla del sistema dicho valor es dado por el tipo de cortocircuito.



**Fig 4.8:** Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla Trifásica.  
Fuente: Autor

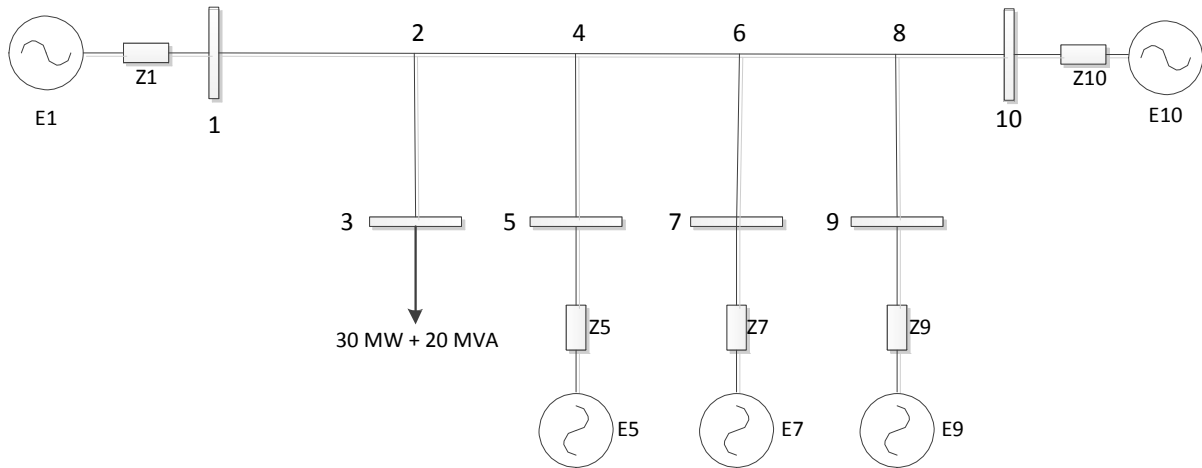
En la figura 4.8 se ve el resultado de comparar la matriz patrón en condiciones normales con la matriz de una falla trifásica existente en el SEP de nueve barras como podemos observar en la gráfica se muestra como resultado que la falla existente se encuentra en la línea L6 que es en donde se simuló la falla.

### 4.3 COMPARACIÓN GRAFICA

En este punto de la tesis realizo la comparación con el modelo de multiterminal en las líneas de transmisión sobre un sistema de 10 barras basado en las modelaciones de Abe, Funabashi, Sanderson y Chih Wen Liu utilizo un método de potencias reactivas para localizar la posición exacta de fallo [51].

Según el método de multiterminal este encuentra la falla y nos emite el porcentaje de error existente en las barras que se encuentran en falla.

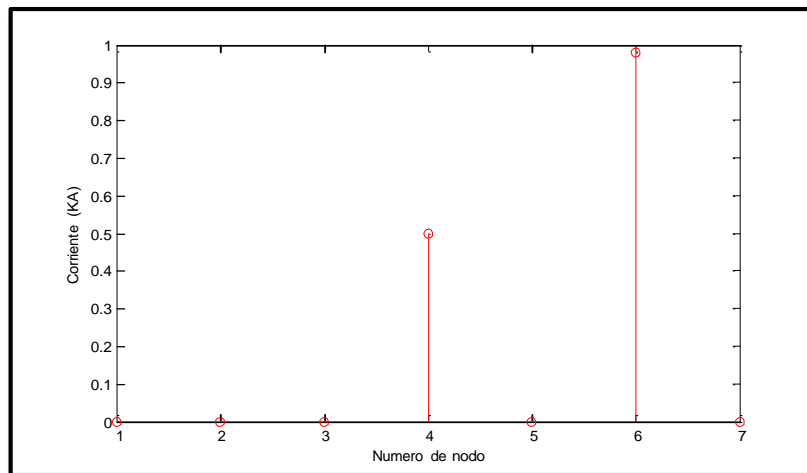




**Fig 4.9:** Simulación de líneas de transmisión de 6 terminales.

**Fuente:** Q. Jiang, B. Wang, and X. Li, “An Efficient PMU-Based Fault-Location Technique for Multiterminal Transmission Lines,” vol. 29, no. 4, pp. 1675–1682, 2014.

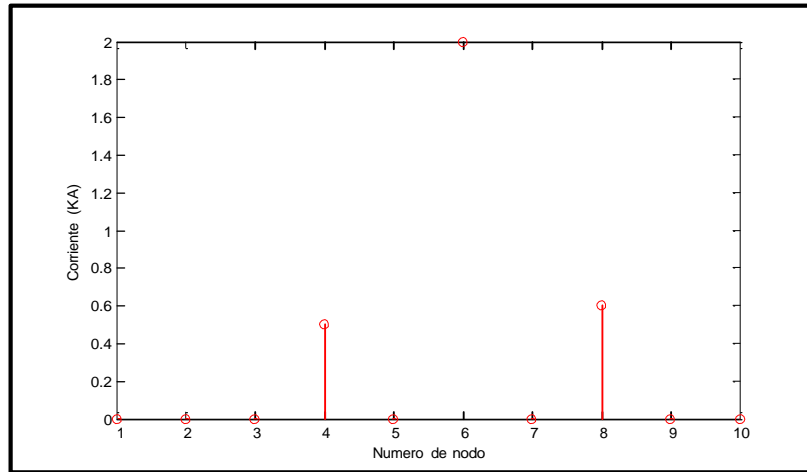
Una vez realizada la simulación del Sistema este nos envía la figura 4.10 en donde se muestra el número de líneas que se encuentran en falla.



**Fig 4.10:** Simulación de líneas de transmisión de 6 terminales.

**Fuente:** Q. Jiang, B. Wang, and X. Li, “An Efficient PMU-Based Fault-Location Technique for Multiterminal Transmission Lines,” vol. 29, no. 4, pp. 1675–1682, 2014.

Como se puede observar en la figura 4.10 se muestra el resultado de la simulación de un sistema de 6 terminales, el cual podemos apreciar que la línea L4 tiene una falla con un porcentaje de error del 50% y la línea L6 tiene una falla con un porcentaje de error del 100 %

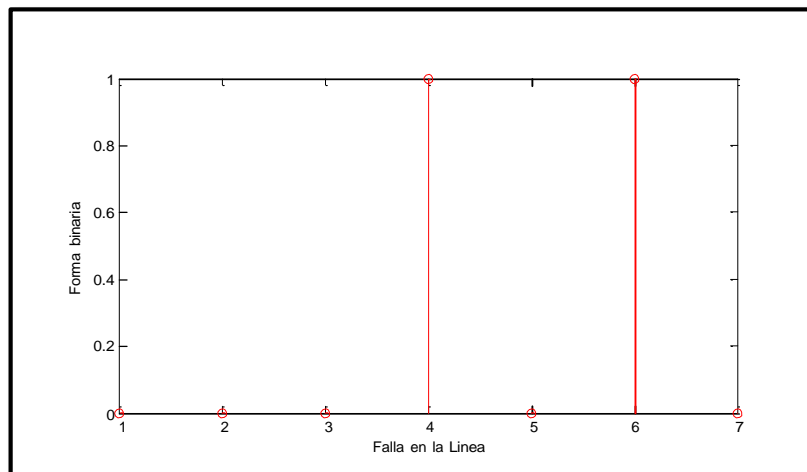


**Fig 4.11:** Simulación de líneas de transmisión de 6 terminales.

**Fuente:** Q. Jiang, B. Wang, and X. Li, “An Efficient PMU-Based Fault-Location Technique for Multiterminal Transmission Lines,” vol. 29, no. 4, pp. 1675–1682, 2014.

En la figura 4.11 se puede apreciar que la corriente desequilibra en el nodo 4, en el nodo 6 y en el nodo 8 con un porcentaje en el nodo 4 del 50% en el nodo 6 del 200 % y en el nodo 8 con un porcentaje del 60%. Debido a que sean simulado diferentes tipos de fallas en SEP [51].

Una vez obtenida las simulaciones del método multiterminal pasaremos a realizar nuestra simulación con el SEP de 10 barras con el algoritmo de Relief.



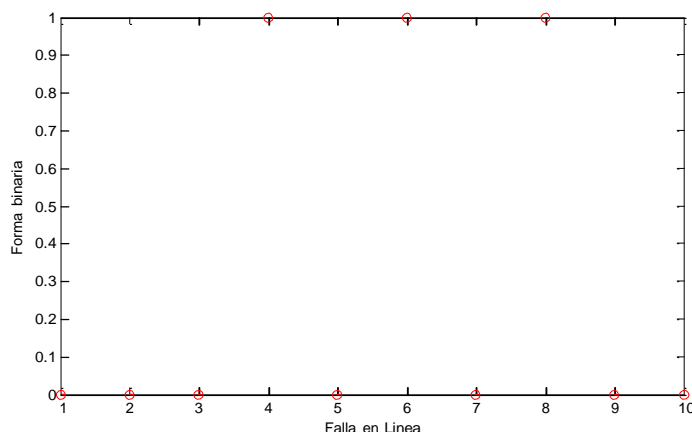
**Fig 4.12:** Simulación de falla en SEP de 6 barras.

**Fuente:** Autor

Como se puede observar en la figura 4.11 es el resultado de la modelación del algoritmo de Relief, como podemos observar esta simulación es parecida a la de la figura 4.10 puesto que en esta nos indica la línea que se encuentra en falla y además el porcentaje de

error que tiene la misma.

Cabe indicar que la modelación está centrada en buscar la ubicación de la falla no en encontrar el porcentaje de error en la misma, con esto podemos decir que las dos simulaciones se encuentran emitiendo los mismos resultados. Ya que las fallas en las dos figuras se encuentran en las líneas L4 y L6.



**Fig 4.13:** Simulación de falla en SEP de 6 barras.

**Fuente:** Autor

Como podemos observar en la figura 4.13 en la cual se presenta diferentes tipos de falla en el sistema la modelación de Relief logra detectar las fallas sin ningún inconveniente, ya que esta se encuentra en las líneas L4, L6 y L8. Si la comparamos con respecto a la figura 4.11 tenemos las fallas ubicadas en las misma líneas con la diferencia que en dicha figura se puede apreciar el porcentaje de error de cada falla.

#### 4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

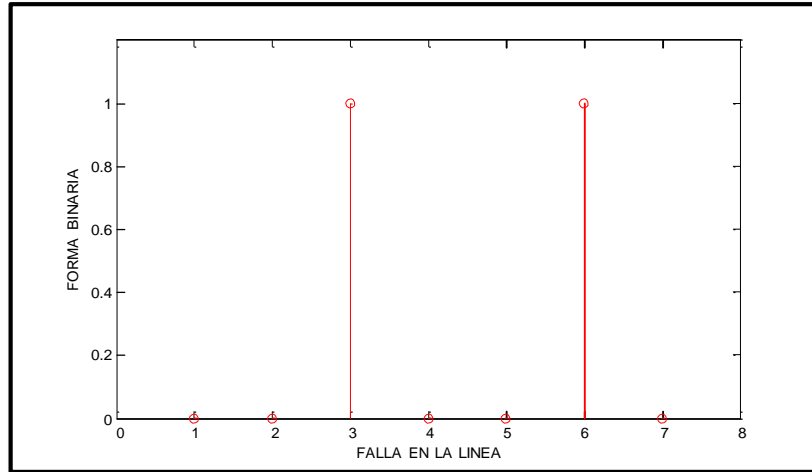
Uno de nuestros puntos principales para este trabajo de tesis era el desarrollar un sistema mediante el cual se pueda determinar una fallas o eventos en un SEP para nuestro caso de estudio se lo realizo para un sistemas IEEE de nueve barras.

Como primer punto se puede decir que se obtuvo una base de datos generada desde nuestro sistema de nueve barras al cual se lo hizo trabajar en condiciones óptimas que significa que este sistema no presenta ningún tipo de falla se encuentra en condiciones normales de trabajo al obtener.

Como segundo punto lo ideal es empezar a trabajar con un tipo de falla recurrente en este caso se simulo con una falla monofásica, obteniendo así buenos resultados, para poder comparar la base de datos del sistema, en este punto se realizó dos fallas monofásicas en diferentes puntos de la sistema, para poder observar cómo reacciona nuestro programa siendo de manera exitosa ya que pudo detectar las dos fallas

monofásicas en diferentes partes del sistema.

Como podemos observar en la figura 4.14 esta nos indica la falla existente en la línea 3 y en la línea 6.

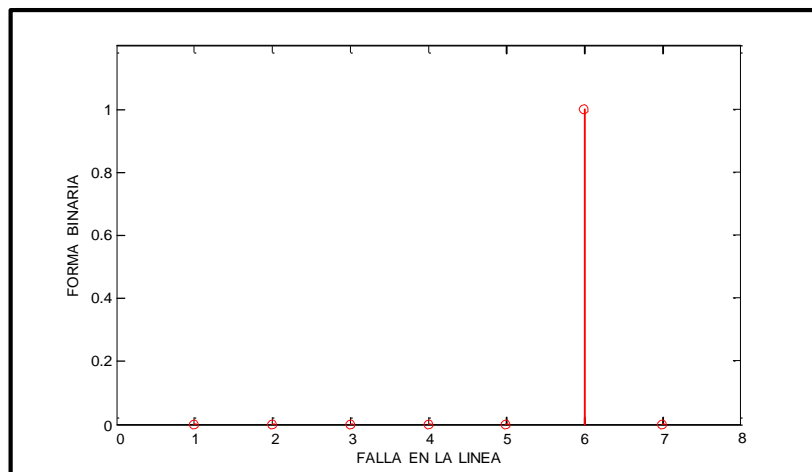


**Fig 4.14:** Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla monofásica  
**Fuente:** Autor

Podemos decir que el programa paso con éxito la primera prueba ya que pudo detectar las fallas existentes en el sistema de nueve barras.

Una de las bases de datos más variable o varía constantemente es en la falla trifásica ya que esta es una falla de alto riesgo puesto que como se mencionó anteriormente es la falla que mayor daño produce al sistema.

Al realizar la simulación con el programa este logra comparar sus valores y detectar donde se encuentra la falla.



**Fig 4.15:** Resultado de la Modelación en MatLAB de la falla Trifásica  
**Fuente:** Autor

Como podemos apreciar en la figura anterior esta nos muestra que la falla se encuentra

en la línea 6, además la matriz generada es  $C = 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0$  donde, el uno nos indica que se tiene una falla en la línea 6.

Como podemos observar en nuestra simulación el mismo está detectando las fallas existentes, en el sistema de 9 barras, una de las opciones más claras sería ampliar la base de datos para que este pueda generar mayor información sobre el mismo.

Mediante la siguiente tabla se muestra las fallas que fueron ocasionadas al sistema para comprobar su funcionamiento en el algoritmo de Relief-F

**Tabla 1.3: Tabla de Fallas ocasionada al SEP de 9 barras**

<b>Numero de falla</b>	<b>ALGORITMO RELIEF-F</b>							<b>Identificación de la línea</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
1	○	○	○	○	○	●	○	Falla en L6
2	○	○	●	○	○	●	○	Falla en L3, Lf6
3	○	○	○	●	○	○	○	Falla en L4
4	●	○	○	○	○	○	○	Falla en L1
5	○	●	○	○	○	○	○	Falla en L2
6	○	○	○	○	●	○	○	Falla en L5
7	○	○	○	⊗	○	○	○	Falla en L4
8	○	○	○	⊗	○	⊗	○	Falla en L4, L6
9	○	○	○	⊗	○	⊗	○	Falla en L4, L6
10	○	●	○	○	⊗	○	○	Falla en L2, L5
11	●	○	●	○	⊗	○	○	Falla en L1, L3, L5
12	○	○	●	○	⊗	⊗	○	Falla en L3, L5, L6
13	○	○	○	○	○	○	○	No existe fallas
14	○	●	○	●	○	●	○	Falla en L2, L4, L6
15	○	⊗	○	⊗	○	⊗	○	Falla en L2, L4, L6
16	●	●	○	○	○	○	○	Falla en L1, L2
17	○	●	●	○	○	○	○	Falla en L2, L3
18	○	○	●	●	○	○	○	Falla en L3, L4
19	○	○	○	●	●	○	○	Falla en L4, L5
20	○	●	○	○	○	⊗	○	Falla en L2, L6

**Fuente:** Autor

Donde:

- Representa cero elementos en falla
- Representa elementos que se encuentran en falla
- ⊗ Representa elementos que se encuentran con falla de fase abierta

Como podemos apreciar en la tabla 1.3 se presentan los resultados de varias simulaciones realizadas con el algoritmo de Relief F, esta modelación muestra el evento ocurrido o que va a ocurrir debido al cambio de los valores de voltaje, corriente o potencia en. Ya que si se presenta una pequeña variación en la base de datos original que se encuentra comparando esta nos dará una alerta, que significaría que tenemos inconvenientes en esa línea.

## CONCLUSIONES

- Para realizar la comparación de la base de datos es importante que exista un orden ascendente en dicha base de datos cabe indicar que de acuerdo a la numeración de las barras o líneas el “DigSilent Power Factory” envía un archivo pero este no se encuentra ordenado, puesto que si no se encuentra en un orden ascendente al momento de ejecutar el algoritmo este enviara a otra línea que se encuentra en buen estado, demorando así la ubicación de la falla en el sistema.
- El algoritmo de Relief es un método binario en el cual por medio de comparaciones discrimina un valor de otro diferente esto se realiza igualando uno a uno, los valores existentes en una base de datos, cabe indicar que para obtener la base de datos se realizaron varias pruebas ya que el mismo sistema va variando los resultados, es importante saber que cuando se realiza la falla de fase abierta el sistema compensa la salida de una línea a una barra con carga, mediante otras líneas adyacentes mandando más corriente y voltaje para esa barra, esto provoca que en la simulación al cabo de un tiempo determinado empiece a dar como resultado que existen más de una línea en falla. Por ello se debe tener en cuenta cuál es la primera que estaba en falla.
- Cabe indicar que una perturbación significa una variación tanto en corriente como en voltaje por ende el modelamiento detecta esta variación y manda mediante MatLab una señal visible sobre qué línea se encuentra la perturbación que debe ser atendida ya que si esta perturbación persiste o se hace permanente es una falla en el sistema.
- El modelamiento del algoritmo de Relief en líneas de transmisión permite determinar las fallas existentes en un Sistema eléctrico de Potencia sea que estas se encuentren encuentre en una línea de transmisión, barras y sin importar que tipo de falla se encuentre en el sistema.
- Uno de los principales inconvenientes con las fallas en los sistemas es que el tiempo de indisponibilidad de la energía eléctrica es relativamente alto debido a que cuando una falla es producida, se debe buscar donde se ha producido en que

líneas del sistema se encuentran. Con el modelamiento de Relief lo que se trata es disminuir el tiempo de indisponibilidad ubicando la falla en un menor tiempo posible y poder despejarla o dejarla fuera del sistema hasta ser reparada.

- Una perturbación en una línea de transmisión es el inicio de una falla por ende debe ser observada con mucha atención el modelamiento de Relief nos indica en cual de línea tenemos una perturbación ya que la base de datos de ingreso al MatLab está comparándola con la base de datos matriz como va existir una variación o una desigualdad en varios en los datos esta nos indicara cual línea tiene una perturbación para poder ser tratada a tiempo.



## RECOMENDACIONES

- Para realizar trabajo con este tipo de modelamiento es primordial obtener la base de datos de un SEP en condiciones normales además de ello se debe considerar que la base de datos enviada por el Power Factory muchas veces se encuentra desordenado y al momento de realizar el modelamiento de Relief en MatLab esto produce una confusión en que línea se encuentra la falla, por tal motivo es primordial revisar la base de datos y ver que se encuentren en orden ascendente las líneas o las barras para que se pueda trabajar con normalidad.
- Es importante tener en cuenta que una perturbación es el inicio de una falla por ende debe ampliarse en la base de datos el punto decimal que sea leído hasta con tres o cuatro valores ya que existen perturbaciones que inician en un estado muy pequeño y que a la final hacen saltar las protecciones del sistema.
- Se debe tener en cuenta que en la modelación esta generada para una base de datos pequeña, al ampliar dicha base de datos esta debe tener un orden específico de líneas así como de número de barras para que la gráfica, se haga más extensa. Dichos valores deben ser cambiados en el MatLab.
- Es importante tener siempre presente que las fallas trifásicas aunque son de menor incidencia son las que mayor daño provocan al Sistema Eléctrico de Potencia por eso debe tener en cuenta que todas las protecciones en un SEP deben estar dimensionadas para poder despejar este tipo de falla, adicional a esto las fallas de mayor incidencia son las fallas monofásicas que abordan alrededor de un 75 % de incidencia.
- En un SEP la coordinación de protecciones debe realizarse con sumo cuidado puesto que debe existir la protección de respaldo cabe indicar que en la coordinación de protecciones debemos tener en cuenta las fallas de mayor incidencia como las de menor incidencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Grainger, *Power System Analysis*, 2nd ed. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2003.
- [2] CELEC EP, “Plan de Expansión de Transmisión,” vol. 1, no. Octubre 2009, p. 71, 2009.
- [3] L. Landau, “Glosario de terminos Sistema Electrico Ecuatoriano,” *Zhurnal Eksp. i Teor. Fiz.*, 1937.
- [4] CELEC EP, “Sistema de transmisión extra alta tensión 500 kV.,” *Sist. Transm. extra alta tensión*, vol. 1, p. 8, 2010.
- [5] K. & Nagrath, *Power System Engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2008.
- [6] A. Deodhar and A. Deodhar, “Pregnancy in a woman with bladder exstrophy,” *Int. J. Gynecol. ...*, no. Cmv, p. 200, 2000.
- [7] M. Renato, C. Vicente, and C. Arturo, *Líneas de transmisión y distribución eléctrica.*, no. 4. Nuevo Leon: UANL, 2002.
- [8] C. P. Vega, “Diseño y Operacion de Líneas de Transmisión,” vol. I, no. 2, pp. 279–320, 2013.
- [9] G. Isabel, “Principios de funcionamiento y aplicaciones a frecuencias de microondas,” no. septiembre 2003, p. 7, 2003.
- [10] Bianchi Raul, “Modelos de líneas de transmisión en estado estacionario,” no. la plata 2012, p. 16, 2012.
- [11] F. Vázquez, *Diseño de Lineas de Transmision en Alta Tensión*. 2012.
- [12] S. Jorge, “Resumen Líneas de Transmisión Eléctrica – IEEE UCSA Introducción Sistemas de transmisión Los sistemas de transmisión esencialmente Sistemas Trifásicos Se emplean de modo casi exclusivo para la Resumen Líneas de Transmisión Eléctrica – IEEE UCSA Sistemas m,” pp. 1–28, 1937.
- [13] S. J. Rafael and X. Enríquez, “Sistemas de Tierra en Líneas de Transmisión,” vol. 1, no. 4, p. 97, 2010.
- [14] E. A. Ramírez, D. S. Escobedo, F. Vázquez, H. J. Altuve, J. Betanzos, and M. Vázquez, “Protección de Alimentadores de Distribución contra Fallas Simultáneas,” p. 11, 2001.
- [15] M. Wen, D. Chen, and X. Yin, “Electrical Power and Energy Systems Equal transfer processes-based distance protection of EHV transmission lines,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 52, pp. 81–86, 2013.
- [16] CONELEC, “Estudio y Gestion de la Demanda Electrica,” vol. 1, p. 206, 2013.

- [17] Degl Inocenti Alejandro, *Diagnostico de fallas de transmision eléctrica*, vol. 1, no. 4. Mexico: ITBA, 2003.
- [18] J. Obed, C. Vicente, and C. Arturo, *Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica*, 2nd ed., vol. 1, no. abril 2006. Nuevo Leon: Grupo Albam, 2006.
- [19] D. P. Wadduwage, C. Qiong, and U. D. Annakkage, "Power system transient stability analysis via the concept of Lyapunov Exponents," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 104, pp. 183–192, 2013.
- [20] Z. Moravej, M. Jazaeri, and M. Gholamzadeh, "Optimal coordination of distance and over-current relays in series compensated systems based on MAPSO," *Energy Convers. Manag.*, vol. 56, pp. 140–151, 2012.
- [21] CONELEC, "Memoria técnica del sistema nacional," vol. 2, no. junio 2012, pp. 1–12, 2016.
- [22] CONELEC, "Plan maestro de electrificacion," vol. 1, no. 2, p. 32, 2009.
- [23] P. A. Reyes, *Análisis de la estabilidad en pequeña señal del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador*, 1st ed. Cuenca: Santillana, 2013.
- [24] Ing. Eugenio Téllez Ramírez, "Calidad de la Energía," vol. 1, no. 222, p. 25, 2009.
- [25] R. C. Lara, F. S. Sellschopp, -, Sánchez, 1, S, and Alas, "Generación de Armónicos y sus Efectos en Redes Eléctricas," 2014.
- [26] AESOLUCIONES, "Los efectos de los armónicos y sus soluciones," vol. 1, p. 10, 2010.
- [27] D. Ignacio and D. Chiguano, "Localización de fallas en líneas aéreas de transmisión," *EPN*, p. 10, 2009.
- [28] P. F. M. Gonzalez-longatt, "Fallas Asimétricas ELC-30514 Introduccion," vol. 1, no. ELEC 30514, p. 63, 2008.
- [29] C. F. Ibaca, "Sistemas de protecciones eléctricos de distancia," vol. IV, no. Viña del mar 2012, p. 25, 2012.
- [30] Q. Richard, *Sistema de protecciones electricas a nivel de 500 kV aplicación subestación pifo*, 1st ed. Quito: Norma, 2008.
- [31] I. Javier and I. Lorenzo, "Departamento de Ingeniería Eléctrica Diseño de un relé neuronal de protección para líneas aéreas de," 2003.
- [32] A. BAYAS, *Protecciones contra sobrecorriente*, 2nd ed. San Juan Argentina: Croquis, 2009.

- [33] B. Vyas, R. P. Maheshwari, and B. Das, "Protection of series compensated transmission line: Issues and state of art," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 107, pp. 93–108, Feb. 2014.
- [34] D. Chatterjee and A. Ghosh, "Improvement of transient stability of power systems with STATCOM-controller using trajectory sensitivity," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 531–539, 2011.
- [35] A. J. G. Pinto, E. C. M. Costa, S. Kurokawa, J. H. a. Monteiro, J. L. de Franco, and J. Pissolato, "Analysis of the electrical characteristics and surge protection of EHV transmission lines supported by tall towers," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 57, pp. 358–365, May 2014.
- [36] R. Aazami, M. Reza, F. Soltanian, and M. Moradkhani, "Electrical Power and Energy Systems A comprehensive strategy for transmission switching action in simultaneous clearing of energy and spinning reserve markets," *Int. J. Electr. power energy Syst.*, vol. 64, pp. 408–418, 2015.
- [37] Ramírez Margil, *Protección de sistemas eléctricos de potencia*, 1st ed., no. julio 2005. Nuevo Leon: Grupo Albam, 2005.
- [38] C. a. Christodoulou, L. Ekonomou, G. P. Fotis, N. Harkiolakis, and I. a. Stathopulos, "Optimization of Hellenic overhead high-voltage transmission lines lightning protection," *Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 502–509, 2009.
- [39] J. Eickmann, T. Drees, J. D. Sprey, and A. Moser, "Optimizing Storages for Transmission System Operation," *Energy Procedia*, vol. 46, pp. 13–21, 2014.
- [40] V. Azevedo, *Sistemas de Protección*, 1st ed., vol. 1, no. Fing 2007. Nuevo Mexico: Balam, 2007.
- [41] R. C. U. D. S. Napoleon Navarrete Guerrero, "Modelamiento, simulacion y coordinacion de protecciones del SEP," vol. 1, pp. 1–251, 2014.
- [42] R. Rosas, *Protección de sistemas eléctricos de potencia*. 2009.
- [43] Y. Sun, "Iterative RELIEF for feature weighting: algorithms, theories, and applications.," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 29, no. 6, pp. 1035–51, Jun. 2007.
- [44] J. A. Calderón, C. Julian, and Ovalle Demetrio, "Neural network for fault classification in transmission lines based on oscilopertubography records," no. Dyna, pp. 99–107, 2008.
- [45] A. A. Azofra, *Un sistema Inteligente para seleccion de características en clasificacion*, 2nd ed. Granada: Grupo Cfocus, 2006.
- [46] M. R.- Sikonja, "Theoretical and Empirical Analysis of ReliefF and RReliefF," pp. 23–69, 2003.

- [47] S. Milena, R. Martínez, and H. L. Correa, “relevancia basadas en filtros sobre imágenes radiológicas,” pp. 26–34, 2011.
- [48] M. Singh, B. . Panigrahi, and R. P. Maheshwari, “Transmission line fault detection and classification,” *2011 Int. Conf. Emerg. Trends Electr. Comput. Technol.*, pp. 15–22, Mar. 2011.
- [49] L. Jin, R. Kumar, and N. Elia, “Reachability analysis based transient stability design in power systems,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 32, no. 7, pp. 782–787, 2010.
- [50] a. H. Osman, a. Noureldin, a. El-Shafie, and D. R. McGaughey, “Fast orthogonal search approach for distance protection of transmission lines,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 2, pp. 215–221, 2010.
- [51] Q. Jiang, B. Wang, and X. Li, “An Ef fi cient PMU-Based Fault-Location Technique for Multiterminal Transmission Lines,” vol. 29, no. 4, pp. 1675–1682, 2014.